

05.08.2004

日 本 国 特 許 庁  
JAPAN PATENT OFFICE

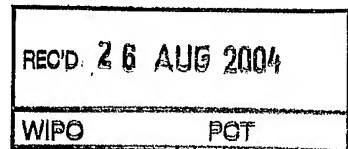
別紙添付の書類に記載されている事項は下記の出願書類に記載されている事項と同一であることを証明する。

This is to certify that the annexed is a true copy of the following application as filed with this Office.

出 願 年 月 日  
Date of Application: 2003年 6月20日

出 願 番 号  
Application Number: 特願2003-177272  
[ST. 10/C]: [JP2003-177272]

出 願 人  
Applicant(s): シャープ株式会社  
大野 英男  
川崎 雅司

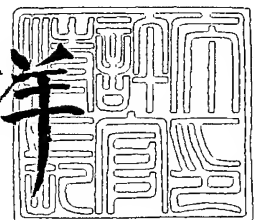


PRIORITY  
DOCUMENT  
SUBMITTED OR TRANSMITTED IN  
COMPLIANCE WITH RULE 17.1(a) OR (b)

2004年 7月15日

特許庁長官  
Commissioner,  
Japan Patent Office

小 川 洋



【書類名】 特許願

【整理番号】 03J02300

【提出日】 平成15年 6月20日

【あて先】 特許庁長官 殿

【国際特許分類】 H01L 29/00

【発明者】

【住所又は居所】 大阪府大阪市阿倍野区长池町 2 2 番 2 2 号 シャープ株式会社内

【氏名】 杉原 利典

【発明者】

【住所又は居所】 宮城県仙台市泉区桂 3 - 3 3 - 1 0

【氏名】 大野 英男

【発明者】

【住所又は居所】 宮城県仙台市青葉区川内元支倉 3 5 番地 1 - 1 0 1

【氏名】 川崎 雅司

【特許出願人】

【持分】 050/100

【識別番号】 000005049

【氏名又は名称】 シャープ株式会社

【特許出願人】

【持分】 025/100

【識別番号】 501356721

【氏名又は名称】 大野 英男

【特許出願人】

【持分】 025/100

【識別番号】 501122377

【氏名又は名称】 川崎 雅司

## 【代理人】

【識別番号】 100080034

【弁理士】

【氏名又は名称】 原 謙三

【電話番号】 06-6351-4384

## 【選任した代理人】

【識別番号】 100113701

【弁理士】

【氏名又は名称】 木島 隆一

## 【選任した代理人】

【識別番号】 100116241

【弁理士】

【氏名又は名称】 金子 一郎

## 【手数料の表示】

【予納台帳番号】 003229

【納付金額】 21,000円

## 【提出物件の目録】

【物件名】 明細書 1

【物件名】 図面 1

【物件名】 要約書 1

【包括委任状番号】 0208489

【プルーフの要否】 要

【書類名】 明細書

【発明の名称】 半導体装置および電子デバイス

【特許請求の範囲】

【請求項 1】

$ZnO$  または  $Mg_xZn_{1-x}O$  の多結晶状態、アモルファス状態または多結晶状態とアモルファス状態とが混在する状態である半導体から成り、I 族、III 族、IV 族、V 族または VII 族の元素が添加されている活性層と、

前記活性層を、前記活性層において可動電荷が移動する領域が雰囲気の影響を受けない範囲で雰囲気から隔絶する隔絶体とを備えていることを特徴とする半導体装置。

【請求項 2】

前記元素が、窒素、リン、砒素、アンチモンまたはこれらのうち 2 種類以上であることを特徴とする請求項 1 に記載の半導体装置。

【請求項 3】

前記隔絶体が異なる隔絶層から成ることを特徴とする請求項 1 または 2 に記載の半導体装置。

【請求項 4】

前記隔絶層のうち少なくとも 1 つが、 $SiO_2$ 、 $Al_2O_3$ 、 $AlN$ 、 $MgO$ 、 $Ta_2O_5$ 、 $TiO_2$ 、 $ZrO_2$ 、 $stb-ZrO_2$ 、 $CeO_2$ 、 $K_2O$ 、 $Li_2O$ 、 $Na_2O$ 、 $Rb_2O$ 、 $In_2O_3$ 、 $La_2O_3$ 、 $Sc_2O_3$ 、 $Y_2O_3$ 、 $KNbO_3$ 、 $KTaO_3$ 、 $BaTiO_3$ 、 $CaSnO_3$ 、 $CaZrO_3$ 、 $CdSnO_3$ 、 $SrHfO_3$ 、 $SrSnO_3$ 、 $SrTiO_3$ 、 $YScO_3$ 、 $CaHfO_3$ 、 $MgCeO_3$ 、 $SrCeO_3$ 、 $BaCeO_3$ 、 $SrZrO_3$ 、 $BaZrO_3$ 、 $LiGaO_2$ 、 $LiGaO_2$  の混晶系  $(Li_{1-(x+y)}Na_xK_y)(Ga_{1-z}Al_z)O_2$  またはこれらのうち少なくとも 2 つを含む固溶体により形成されていることを特徴とする請求項 3 に記載の半導体装置。

【請求項 5】

前記活性層に接続される 2 つの電極以外で前記活性層と界面を形成する前記隔絶層のうち、前記活性層における可動電荷の移動を制御する制御電極と前記活性

層との間を絶縁する絶縁層と界面を形成する領域以外で前記活性層と界面を形成する前記絶縁層が、 $\text{SiO}_2$ 、 $\text{Al}_2\text{O}_3$ 、 $\text{AlN}$ 、 $\text{MgO}$ 、 $\text{Ta}_2\text{O}_5$ 、 $\text{TiO}_2$ 、 $\text{ZrO}_2$ 、 $\text{stab-ZrO}_2$ 、 $\text{CeO}_2$ 、 $\text{K}_2\text{O}$ 、 $\text{Li}_2\text{O}$ 、 $\text{Na}_2\text{O}$ 、 $\text{Rb}_2\text{O}$ 、 $\text{In}_2\text{O}_3$ 、 $\text{La}_2\text{O}_3$ 、 $\text{Sc}_2\text{O}_3$ 、 $\text{Y}_2\text{O}_3$ 、 $\text{KNbO}_3$ 、 $\text{KTaO}_3$ 、 $\text{BaTiO}_3$ 、 $\text{CaSnO}_3$ 、 $\text{CaZrO}_3$ 、 $\text{CdSnO}_3$ 、 $\text{SrHfO}_3$ 、 $\text{SrSnO}_3$ 、 $\text{SrTiO}_3$ 、 $\text{YScO}_3$ 、 $\text{CaHfO}_3$ 、 $\text{MgCeO}_3$ 、 $\text{SrCeO}_3$ 、 $\text{BaCeO}_3$ 、 $\text{SrZrO}_3$ 、 $\text{BaZrO}_3$ 、 $\text{LiGaO}_2$ 、 $\text{LiGaO}_2$ の混晶系 ( $\text{Li}_{1-(x+y)}\text{Na}_x\text{K}_y$ ) ( $\text{Ga}_{1-z}\text{Al}_z$ )  $\text{O}_2$  またはこれらのうち少なくとも2つを含む固溶体により形成されていることを特徴とする請求項4に記載の半導体装置。

#### 【請求項6】

前記絶縁層のうち少なくとも1つが樹脂により形成されていることを特徴とする請求項3に記載の半導体装置。

#### 【請求項7】

前記活性層に接続される2つの電極以外で前記活性層と界面を形成する前記絶縁層のうち、前記活性層における可動電荷の移動を制御する制御電極と前記活性層との間を絶縁する絶縁層と界面を形成する領域以外で前記活性層と界面を形成する前記絶縁層が樹脂により形成されていることを特徴とする請求項6に記載の半導体装置。

#### 【請求項8】

前記活性層における可動電荷の移動を制御するゲート電極と、

前記活性層と前記ゲート電極との間を絶縁する前記絶縁層としてのゲート絶縁層と、

前記活性層に接続されるソース電極およびドレイン電極とを備え、

前記絶縁層のうち少なくとも1つが、 $\text{SiO}_2$ 、 $\text{Al}_2\text{O}_3$ 、 $\text{AlN}$ 、 $\text{MgO}$ 、 $\text{Ta}_2\text{O}_5$ 、 $\text{TiO}_2$ 、 $\text{ZrO}_2$ 、 $\text{stab-ZrO}_2$ 、 $\text{CeO}_2$ 、 $\text{K}_2\text{O}$ 、 $\text{Li}_2\text{O}$ 、 $\text{Na}_2\text{O}$ 、 $\text{Rb}_2\text{O}$ 、 $\text{In}_2\text{O}_3$ 、 $\text{La}_2\text{O}_3$ 、 $\text{Sc}_2\text{O}_3$ 、 $\text{Y}_2\text{O}_3$ 、 $\text{KNbO}_3$ 、 $\text{KTaO}_3$ 、 $\text{BaTiO}_3$ 、 $\text{CaSnO}_3$ 、 $\text{CaZrO}_3$ 、 $\text{CdSnO}_3$ 、 $\text{SrHfO}_3$ 、 $\text{SrSnO}_3$ 、 $\text{SrTiO}_3$ 、 $\text{YScO}_3$ 、 $\text{CaHfO}_3$ 、 $\text{MgCeO}_3$ 、 $\text{SrCeO}_3$ 、 $\text{BaCeO}_3$ 、 $\text{SrZrO}_3$ 、 $\text{BaZrO}_3$ 、 $\text{LiGaO}_2$ 、 $\text{LiGaO}_2$ の混

晶系  $(Li_{1-(x+y)}Na_xK_y)(Ga_{1-z}Al_z)O_2$  またはこれらのうち少なくとも 2 つを含む固溶体により形成されていることを特徴とする請求項 3 に記載の半導体装置。

【請求項 9】

前記ゲート電極および前記ドレイン電極以外で前記活性層と界面を形成する前記隔絶層のうち、前記ゲート絶縁層と界面を形成する領域以外で前記活性層と界面を形成する前記隔絶層が、 $SiO_2$ 、 $Al_2O_3$ 、 $AlN$ 、 $MgO$ 、 $Ta_2O_5$ 、 $TiO_2$ 、 $ZrO_2$ 、 $stb-ZrO_2$ 、 $CeO_2$ 、 $K_2O$ 、 $Li_2O$ 、 $Na_2O$ 、 $Rb_2O$ 、 $In_2O_3$ 、 $La_2O_3$ 、 $Sc_2O_3$ 、 $Y_2O_3$ 、 $KNbO_3$ 、 $KTaO_3$ 、 $BaTiO_3$ 、 $CaSnO_3$ 、 $CaZrO_3$ 、 $CdSnO_3$ 、 $SrHfO_3$ 、 $SrSnO_3$ 、 $SrTiO_3$ 、 $YScO_3$ 、 $CaHfO_3$ 、 $MgCeO_3$ 、 $SrCeO_3$ 、 $BaCeO_3$ 、 $SrZrO_3$ 、 $BaZrO_3$ 、 $LiGaO_2$ 、 $LiGaO_2$  の混晶系  $(Li_{1-(x+y)}Na_xK_y)(Ga_{1-z}Al_z)O_2$  またはこれらのうち少なくとも 2 つを含む固溶体により形成されていることを特徴とする請求項 8 に記載の半導体装置。

【請求項 10】

前記活性層における可動電荷の移動を制御するゲート電極と、  
前記活性層と前記ゲート電極との間を絶縁する前記隔絶層としてのゲート絶縁層と、  
前記活性層に接続されるソース電極およびドレイン電極とを備え、  
前記隔絶層のうち少なくとも 1 つが樹脂により形成されていることを特徴とする請求項 3 に記載の半導体装置。

【請求項 11】

前記ゲート電極および前記ドレイン電極以外で前記活性層と界面を形成する前記隔絶層のうち、前記ゲート絶縁層と界面を形成する領域以外で前記活性層と界面を形成する前記隔絶層が樹脂により形成されていることを特徴とする請求項 10 に記載の半導体装置。

【請求項 12】

請求項 1 ないし 11 のいずれか 1 項に記載の半導体装置をスイッチング素子と

して備えた電子デバイス。

### 【請求項 1 3】

前記スイッチング素子が、絵素電極への画像信号の書き込みまたは読み出しのために絵素電極に接続されていることを特徴とする請求項 1 2 に記載の電子デバイス。

### 【発明の詳細な説明】

#### 【0 0 0 1】

#### 【発明の属する技術分野】

本発明は、酸化亜鉛系の活性層を有する半導体装置に係り、電子デバイスに用いられるスイッチング素子に好適な半導体装置およびそれを用いた電子デバイスに関するものである。

#### 【0 0 0 2】

#### 【従来の技術】

従来、酸化亜鉛（Z n O）は可視光領域において透明であり、また低温での作製においても比較的良い物性を示す半導体である。そのため、近年盛んに研究が行われ、種々の技術が報告されている。

#### 【0 0 0 3】

例えば、学術的には、非特許文献 1 ないし 3 の論文が発表されている。これらの論文は、いずれも Z n O を活性層とした薄膜トランジスタが性能良く動作すること示している。

#### 【0 0 0 4】

また、特許出願においては、特許文献 1 ないし 3 に Z n O を半導体に利用した技術が開示されている。

#### 【0 0 0 5】

特許文献 1 には、トランジスタのチャネル層に酸化亜鉛等の透明半導体を使用し、ゲート絶縁層にも透明絶縁性酸化物を使用して、トランジスタを透明にすることが記載されている。

#### 【0 0 0 6】

特許文献 2 には、酸化亜鉛と下地膜との格子不整合を下地膜の材料を選択する

ことで解消し、酸化亜鉛と用いた薄膜トランジスタを含む半導体デバイスの高性能化が可能であることが記載されている。

【0 0 0 7】

特許文献 3 には、酸化亜鉛等の透明チャネル層を有するトランジスタのオン・オフ比特性や移動度特性を改善するために、酸化亜鉛に 3 d 遷移金属をドーピングする方法が記載されている。

【0 0 0 8】

以上に記した論文および特許文献により酸化亜鉛を用いたトランジスタの有効性が示されている。

【0 0 0 9】

しかしながら、特許文献 4 に開示されたように、酸化亜鉛は雰囲気に対して感受性が高く、酸化亜鉛を用いたデバイスの特性が大きく変化するため、実用性においては保護層（絶縁物）により酸化亜鉛を雰囲気から隔絶する必要がある。特許文献 4 は、酸化亜鉛をチャネル層に用いた縦型電界効果トランジスタをガスセンサーとして利用することが記載されている。

【0 0 1 0】

上記の非特許文献 1、2 および 3 では、構造において保護層の付与は無く、保護層付与による影響に関しては論じられてはいない。また、特許文献 1、2 および 3 では、構造において雰囲気からの隔絶の例示もされているが、保護層（ここではゲート絶縁層がそれに対応する）の付与の影響に関して論じられていない。

【0 0 1 1】

【特許文献 1】

特開 2 0 0 0 - 1 5 0 9 0 0 号公報（公開日：2 0 0 0 年 5 月 3 0 日）

【0 0 1 2】

【特許文献 2】

特開 2 0 0 0 - 2 7 7 5 3 4 号公報（公開日：2 0 0 0 年 1 0 月 6 日）

【0 0 1 3】

【特許文献 3】

特開 2 0 0 2 - 7 6 3 5 6 号公報（公開日：2 0 0 2 年 3 月 1 5 日）



## 【0014】

## 【特許文献4】

特開昭63-101740号公報（公開日：1988年5月6日）

## 【0015】

## 【非特許文献1】

R.L.Hoffman, B.J.Norris and J.F.Wager, "ZnO-based transparent thin-film transistors" APPLIED PHYSICS LETTERS VOLUME 82, NUMBER 5, 3 FEBRUARY 2003, pp733-735

## 【0016】

## 【非特許文献2】

P.F.Carcia, R.S.McLean, M.H.Reilly and G.Nunes,Jr. "Transparent ZnO thin-film transistor fabricated by rf magnetron sputtering" APPLIED PHYSICS LETTERS VOLUME 82, NUMBER 7, 17 FEBRUARY pp1117-1119

## 【0017】

## 【非特許文献3】

Junya NISHII et al., "High Performance Thin Film Transistors with Transparent ZnO Channels" Jpn. Appl. Phys. Vol. 42. (2003) pp L1-L3

## 【0018】

## 【発明が解決しようとする課題】

酸化亜鉛を活性層に用いたトランジスタにおいて、実用上、その特性には安定性が求められ、雰囲気に対して感受性が高い酸化亜鉛を用いる場合、雰囲気からの隔絶が絶対条件となる。この意味において、保護層の付与による影響に関しては論じる必要があり、そのことについて以下に説明する。

## 【0019】

図14（a）は、保護層が付与されないトランジスタ50を示している。このトランジスタ50は、逆スタガ構造を成しており、ガラス基板52上にTaで形成されるゲート電極53の上に、 $Al_2O_3$ で形成されるゲート絶縁層54を介して意図的にドーピングを行っていない酸化亜鉛が半導体層55として積層され、この半導体層55の上にAlで構成されるソース電極56とドレイン電極57と

が形成されている。

#### 【0020】

図14 (b) は、保護層が付与されたトランジスタ 51 を示している。このトランジスタ 51 は、上記のトランジスタ 50 において、さらに半導体層 55、ソース電極 56 およびドレイン電極 57 の一部を覆うように、保護層 58 が  $\text{Al}_2\text{O}_3$  で形成される構造を成している。

#### 【0021】

図15 は、酸化亜鉛を活性層（半導体層 55）に用いた同一の電界効果トランジスタで保護層の有無についての  $I_d - V_g$  特性を示す。

#### 【0022】

図15 からわかるように、保護層の有無により、しきい値電圧が大幅に変化している。保護層が付与されたトランジスタのしきい値電圧は、保護層が付与されていないトランジスタの閾値に比べて大きくマイナス側にシフトしており、実用不可能な大きな負の値となっている。

#### 【0023】

このような現象が起こることは、以下のように説明できる。酸化亜鉛はもともと酸素空孔を生じやすく、その酸素空孔から自由電子が生成され、n型の伝導性を示す半導体である。しかし、酸化亜鉛がその表面に有する表面準位により、酸化亜鉛表面のフェルミ準位は押し下げられると、その結果、空乏層が、酸化亜鉛内部に広がってチャネル層を形成するゲート絶縁層界面まで達し、自由電子を排除するため、酸化亜鉛が高抵抗化する。高抵抗な酸化亜鉛では可動電荷である自由電子が少なく、この自由電子を排除するために必要なゲート電圧は小さくなるため、しきい値電圧の絶対値が小さくなる。この状態が、保護層の無い状態である。

#### 【0024】

酸化亜鉛に保護層として  $\text{Al}_2\text{O}_3$  を付与すると、酸化亜鉛の表面準位が減少する。このことは、第50回応用物理学会関係連合講演会、29p-F-8 (2003/3) で、酸化亜鉛と  $\text{Al}_2\text{O}_3$  の整合性が良く、欠陥準位が少ないという報告から理解できる。この表面準位の減少のため、酸化亜鉛表面のフェルミ準位は

酸化亜鉛が本来持っている自由電子の濃度により決まる位置に復元し、その結果、酸化亜鉛内部への空乏層の拡がりが無くなる。このため、酸化亜鉛が本来の n 型伝導性を示し、低抵抗化、つまり自由電子の多い状態になる。この多数存在する自由電子を排除するためには、大きなマイナスのゲート電圧が必要となり、その結果、しきい値電圧が負の大きな値となる。

#### 【0025】

図 16 は、 $\text{Al}_2\text{O}_3$  保護層の有無による酸化亜鉛の抵抗率の変化を示しており、 $\text{Al}_2\text{O}_3$  保護層付与により、酸化亜鉛の抵抗率が約  $1/6400$  に減少することを示している。このことから、上記の機構が裏付けられる。

#### 【0026】

上記のように、酸化亜鉛を活性層に用いた電界効果トランジスタにおいて、保護層の付与によってトランジスタとしての特性が大きく変化することを発見し、論じたのは初めてである。

#### 【0027】

酸化亜鉛を活性層に使用した電界効果トランジスタにおいては、酸化亜鉛の雰囲気に対する敏感性から、保護層が必要不可欠である。しかし、上記のように、保護層の付与された電界効果トランジスタは、しきい値電圧がマイナスの大きな電圧となるため、実使用が不可能となる。

#### 【0028】

本発明は、上記の問題に鑑みてなされたものであって、酸化亜鉛を活性層に用い、かつ活性層を雰囲気と隔絶する保護層の付与された、実使用が可能である半導体装置およびそれを備えた電子デバイスを提供することを目的としている。

#### 【0029】

##### 【課題を解決するための手段】

本発明の半導体装置は、上記の課題を解決するために、 $\text{ZnO}$  または  $\text{Mg}_x\text{Zn}_{1-x}\text{O}$  の多結晶状態、アモルファス状態または多結晶状態とアモルファス状態とが混在する状態である半導体から成り、I 族、III 族、IV 族、V 族または VII 族の元素が添加されている活性層と、前記活性層を、前記活性層において可動電荷が移動する領域が雰囲気の影響を受けない範囲で雰囲気から隔絶する隔絶体とを

備えていることを特徴としている。

#### 【0030】

上記の構成において、隔絶体は、活性層を雰囲気から隔絶できれば良く、保護層や絶縁層だけでなく電極等を含んでいても良い。また、活性層のすべてが隔絶体によって隔絶されていても良いが、少なくとも活性層において可動電荷が移動する領域（例えば、薄膜トランジスタのチャネル部分）が雰囲気の影響を受けない範囲で雰囲気から隔絶されておれば良く、これを満たせば活性層の一部が隔絶層から雰囲気に露出していても構わない。

#### 【0031】

このように、雰囲気に対して敏感な  $ZnO$  または  $Mg_xZn_{1-x}O$  からなる活性層を隔絶体によって雰囲気から隔絶することにより、半導体装置の素子特性を安定化させることが可能である。また、保護層等の隔絶体によって結果的に発生する活性層の可動電荷を、活性層に I 族、III 族、IV 族、V 族または VII 族の元素が添加されることにより減少させることができる。これは、保護層等を形成することで例えば  $ZnO$  の表面準位が減少し、 $ZnO$  内部への空乏層の拡がりが消滅され、 $ZnO$  は本来の抵抗値を示す n 型半導体となり、自由電子が過剰な状態になる。例えば V 族元素の窒素は  $ZnO$  に対してアクセプタ不純物として働くので、窒素の添加により過剰な自由電子が減少し、フェルミ準位がバンドギャップ中央付近に押し下げられる。これにより、過剰な自由電子を排除するためのゲート電圧が低下するので、しきい値電圧が高まる。このように、トランジスタの重要な特性の 1 つであるしきい値電圧を実使用可能な電圧に制御することが可能となる。

#### 【0032】

前記半導体装置においては、前記元素が、窒素、リン、砒素、アンチモンまたはこれらのうち 2 種類以上であることが好ましい。これらの元素が活性層に添加されることにより、添加量に応じてしきい値電圧を比較的大きな範囲で精度良く制御することができる。

#### 【0033】

前記半導体装置においては、前記隔絶体が異なる隔絶層から成ることが好まし

い。例えば、隔絶体は、前述のように活性層を雰囲気から隔絶できれば良く、複数の隔絶層から成ることにより、絶縁層、電極、保護層等を隔絶層として含む薄膜トランジスタなどを本発明に容易に適用することができる。

#### 【0034】

前記半導体装置においては、前記隔絶層のうち少なくとも1つが、 $\text{SiO}_2$ 、 $\text{Al}_2\text{O}_3$ 、 $\text{AlN}$ 、 $\text{MgO}$ 、 $\text{Ta}_2\text{O}_5$ 、 $\text{TiO}_2$ 、 $\text{ZrO}_2$ 、 $\text{stab-ZrO}_2$ 、 $\text{CeO}_2$ 、 $\text{K}_2\text{O}$ 、 $\text{Li}_2\text{O}$ 、 $\text{Na}_2\text{O}$ 、 $\text{Rb}_2\text{O}$ 、 $\text{In}_2\text{O}_3$ 、 $\text{La}_2\text{O}_3$ 、 $\text{Sc}_2\text{O}_3$ 、 $\text{Y}_2\text{O}_3$ 、 $\text{KNbO}_3$ 、 $\text{KTaO}_3$ 、 $\text{BaTiO}_3$ 、 $\text{CaSnO}_3$ 、 $\text{CaZrO}_3$ 、 $\text{CdSnO}_3$ 、 $\text{SrHfO}_3$ 、 $\text{SrSnO}_3$ 、 $\text{SrTiO}_3$ 、 $\text{YScO}_3$ 、 $\text{CaHfO}_3$ 、 $\text{MgCeO}_3$ 、 $\text{SrCeO}_3$ 、 $\text{BaCeO}_3$ 、 $\text{SrZrO}_3$ 、 $\text{BaZrO}_3$ 、 $\text{LiGaO}_2$ 、 $\text{LiGaO}_2$ の混晶系  $(\text{Li}_{1-(x+y)}\text{Na}_x\text{K}_y)(\text{Ga}_{1-z}\text{Al}_z)\text{O}_2$  またはこれらのうち少なくとも2つを含む固溶体により形成されていることが好ましい。これらの材料は、 $\text{ZnO}$  および  $\text{Mg}_x\text{Zn}_{1-x}\text{O}$  との整合性が良好であるため、活性層と直接界面を形成する隔絶層に適している。

#### 【0035】

この半導体装置においては、前記活性層に接続される2つの電極以外で前記活性層と界面を形成する前記隔絶層のうち、前記活性層における可動電荷の移動を制御する制御電極と前記活性層との間を絶縁する隔絶層と界面を形成する領域以外で前記活性層と界面を形成する前記隔絶層が、 $\text{SiO}_2$ 、 $\text{Al}_2\text{O}_3$ 、 $\text{AlN}$ 、 $\text{MgO}$ 、 $\text{Ta}_2\text{O}_5$ 、 $\text{TiO}_2$ 、 $\text{ZrO}_2$ 、 $\text{stab-ZrO}_2$ 、 $\text{CeO}_2$ 、 $\text{K}_2\text{O}$ 、 $\text{Li}_2\text{O}$ 、 $\text{Na}_2\text{O}$ 、 $\text{Rb}_2\text{O}$ 、 $\text{In}_2\text{O}_3$ 、 $\text{La}_2\text{O}_3$ 、 $\text{Sc}_2\text{O}_3$ 、 $\text{Y}_2\text{O}_3$ 、 $\text{KNbO}_3$ 、 $\text{KTaO}_3$ 、 $\text{BaTiO}_3$ 、 $\text{CaSnO}_3$ 、 $\text{CaZrO}_3$ 、 $\text{CdSnO}_3$ 、 $\text{SrHfO}_3$ 、 $\text{SrSnO}_3$ 、 $\text{SrTiO}_3$ 、 $\text{YScO}_3$ 、 $\text{CaHfO}_3$ 、 $\text{MgCeO}_3$ 、 $\text{SrCeO}_3$ 、 $\text{BaCeO}_3$ 、 $\text{SrZrO}_3$ 、 $\text{BaZrO}_3$ 、 $\text{LiGaO}_2$ 、 $\text{LiGaO}_2$ の混晶系  $(\text{Li}_{1-(x+y)}\text{Na}_x\text{K}_y)(\text{Ga}_{1-z}\text{Al}_z)\text{O}_2$  またはこれらのうち少なくとも2つを含む固溶体により形成されていることが好ましい。例えば、薄膜トランジスタにおいては、活性層に接続される2つの電極は、ソース電極およびドレイン電極に相当し、制御電極はゲート電極に相当する。逆スタガ型の薄膜トランジスタでは、基板上にゲート電極が形成され、さらにゲート絶縁層（隔

絶層)を介したその上に活性層が形成される。ここでは、ゲート絶縁層と界面を形成する領域以外で活性層と界面を形成する隔絶層は、活性層における、ソース電極およびドレイン電極間に現れる上端面ならびに一部の側端面と界面を形成する隔絶層である(図1(a)ないし(c)の保護層8に相当)。このような半導体装置に必須の電極や絶縁層以外で活性層を雰囲気から隔絶する保護層としての役割を果たす隔絶層が設けられている構成においては、前記のようにZnOおよび $Mg_xZn_{1-x}O$ との整合性が良好な上記の材料により、活性層の上記の領域と直接界面を形成する隔絶層を形成することにより、半導体装置の素子特性を安定させることができる。

#### 【0036】

前記半導体装置においては、前記隔絶層のうち少なくとも1つが樹脂により形成されていることが好ましい。隔絶層として樹脂を用いることで、樹脂による隔絶層の形成に既存の樹脂形成装置を用いることが可能である。それゆえ、隔絶層を形成するために複雑な成膜プロセスを用いることなく、半導体装置の製造をより容易にすることができることから、半導体装置の製造コストを低減することが可能である。また、樹脂を用いることにより、半導体装置の柔軟性を高めることができ、半導体装置の基板としてフレキシブル基板を用いた場合には特に好適である。

#### 【0037】

この半導体装置においては、前記活性層に接続される2つの電極以外で前記活性層と界面を形成する前記隔絶層のうち、前記活性層における可動電荷の移動を制御する制御電極と前記活性層との間を絶縁する隔絶層と界面を形成する領域以外で前記活性層と界面を形成する前記隔絶層が樹脂により形成されていることが好ましい。例えば、薄膜トランジスタにおいては、活性層に接続される2つの電極は、ソース電極およびドレイン電極に相当し、制御電極はゲート電極に相当する。逆スタガ型の薄膜トランジスタでは、前述のように、ゲート絶縁層と界面を形成する領域以外で活性層と界面を形成する隔絶層は、活性層における、ソース電極およびドレイン電極間に現れる上端面ならびに一部の側端面と界面を形成する隔絶層である(図1(a)ないし(c)の保護層8に相当)。このような半導

体装置に必須の電極や絶縁層以外で活性層を雰囲気から隔離する保護層としての役割を果たす隔離層が設けられている構成においては、活性層の上記の領域と直接界面を形成する隔離層に樹脂を使用することが可能であるので、前記のように半導体装置の製造コストの低減を図ることができる。

#### 【0038】

本発明の電子デバイスは、前記のいずれかの半導体装置をスイッチング素子として備えている。このように、透明な  $ZnO$  および  $Mg_xZn_{1-x}O$  を活性層に用いた性能の良い半導体装置をスイッチング素子として備えることにより、電子デバイスの性能を容易に向上させることができる。

#### 【0039】

前記電子デバイスにおいては、前記スイッチング素子が、絵素電極への画像信号の書き込みまたは読み出しのために絵素電極に接続されていることが好ましい。電子デバイスとしてのアクティブマトリクス型の表示装置（例えば、液晶表示装置や有機EL表示装置）では、駆動回路から絵素電極に画像信号を書き込む際にスイッチング素子をONさせる。また、電子デバイスとしてのイメージセンサのような画像読取装置では、絵素電極に取り込まれた画素信号を読み出す際にスイッチング素子をONさせる。このように、画像表示や画像読み取りのための電子デバイスに半導体装置をスイッチング素子として用いることにより、これらの電子デバイスの高性能化を容易に図ることができる。

#### 【0040】

##### 【発明の実施の形態】

##### 〔実施形態1〕

本発明の第1の実施形態について、図1ないし図5に基づいて説明すれば、以下の通りである。

#### 【0041】

図1(a)は、本実施の形態に係る薄膜トランジスタ1の平面図を示している。また、図1(b)は図1(a)のA-A線矢視断面図を示し、および図1(c)は図1(a)のB-B線矢視断面図を示している。なお、図1(a)においては、図の単純化のため、図1(b)および(c)に示す保護層8の表面中央部分

の凹凸については、その記載を省略している。

#### 【0042】

図1 (a) ないし (c) に示すように、半導体装置としての薄膜トランジスタ1は、絶縁性基板2上に形成されたゲート電極3の上に、ゲート絶縁層4を介して半導体層5が積層され、この半導体層5の上に電極部としてのソース電極6とドレイン電極7とが形成され、さらに半導体層5、ソース電極6およびドレイン電極7の一部を覆う保護層8が形成され、逆スタガ型の構造を成している。

#### 【0043】

また、この薄膜トランジスタ1が表示装置（例えば、実施形態4のアクティブマトリクス型液晶表示装置）に用いられる場合は、ドレイン電極7が絵素電極に接続されるか、もしくはドレイン電極7と絵素電極とが透明導電膜で一体的に形成される。このため、ドレイン電極7の一部は保護層8から引き出されている。

#### 【0044】

ゲート絶縁層4は、絶縁物として $ZnO$ および $Mg_xZn_{1-x}O$ との整合性の良好な $SiO_2$ 、 $Al_2O_3$ 、 $AlN$ 、 $MgO$ 、 $Ta_2O_5$ 、 $TiO_2$ 、 $ZrO_2$ 、 $st$   
 $ab-ZrO_2$ 、 $CeO_2$ 、 $K_2O$ 、 $Li_2O$ 、 $Na_2O$ 、 $Rb_2O$ 、 $In_2O_3$ 、 $La$   
 $2O_3$ 、 $Sc_2O_3$ 、 $Y_2O_3$ 、 $KNbO_3$ 、 $KTaO_3$ 、 $BaTiO_3$ 、 $CaSnO_3$ 、  
 $CaZrO_3$ 、 $CdSnO_3$ 、 $SrHfO_3$ 、 $SrSnO_3$ 、 $SrTiO_3$ 、 $YSc$   
 $O_3$ 、 $CaHfO_3$ 、 $MgCeO_3$ 、 $SrCeO_3$ 、 $BaCeO_3$ 、 $SrZrO_3$ 、 $B$   
 $aZrO_3$ 、 $LiGaO_2$ 、 $LiGaO_2$ の混晶系 $(Li_{1-(x+y)}Na_xK_y)(Ga$   
 $_{1-z}Al_z)O_2$ またはこれらのうち少なくとも2つを含む固溶体を用いて形成されている。また、ゲート絶縁層4は前記の絶縁物が複数積層されていても良い。例えば、図2に示すように、ゲート絶縁層4は、第1絶縁層4aおよび第2絶縁層4bの2層の積層により構成される。このような構造では、第1絶縁層4aを半導体層5との界面特性が良好な絶縁物（ $Al_2O_3$ 、 $AlN$ 、 $MgO$ ）で形成し、第2絶縁層4bを絶縁性の良好な絶縁物（ $SiO_2$ ）で形成することにより、絶縁性基板2上で信頼性の高いゲート絶縁層4を得ることができる。

#### 【0045】

活性層としての半導体層5は、I族、III族、IV族、V族またはVII族元素が添



加された  $ZnO$  または  $Mg_xZn_{1-x}O$  の多結晶状態、アモルファス状態または多結晶状態とアモルファス状態とが混在する状態である半導体を用いて形成されている。添加される元素としては、I 族および V 族の元素が好ましい。例えば、半導体層 5 は、窒素 (N)、リン (P)、砒素 (As)、アンチモン (Sb) またはこれらの元素の 2 種類以上を含む  $ZnO$  または  $Mg_xZn_{1-x}O$  の多結晶状態、アモルファス状態または多結晶状態とアモルファス状態とが混在する状態である半導体により形成されている。

#### 【0046】

保護層 8 は、半導体層 5 における、ソース電極 6 およびドレイン電極 7 が形成される部分（両電極 6, 7 により覆われる部分）以外の部分で、かつゲート絶縁層 4 と界面を形成していない部分（両電極 6, 7 間の部分および半導体層 5 の周辺の側端面）を覆っている。この保護層 8 は、 $SiO_2$ 、 $Al_2O_3$ 、 $AlN$ 、 $MgO$ 、 $Ta_2O_5$ 、 $TiO_2$ 、 $ZrO_2$ 、 $stab-ZrO_2$ 、 $CeO_2$ 、 $K_2O$ 、 $Li_2O$ 、 $Na_2O$ 、 $Rb_2O$ 、 $In_2O_3$ 、 $La_2O_3$ 、 $Sc_2O_3$ 、 $Y_2O_3$ 、 $KNbO_3$ 、 $KTaO_3$ 、 $BaTiO_3$ 、 $CaSnO_3$ 、 $CaZrO_3$ 、 $CdSnO_3$ 、 $SrHfO_3$ 、 $SrSnO_3$ 、 $SrTiO_3$ 、 $YScO_3$ 、 $CaHfO_3$ 、 $MgCeO_3$ 、 $SrCeO_3$ 、 $BaCeO_3$ 、 $SrZrO_3$ 、 $BaZrO_3$ 、 $LiGaO_2$ 、 $LiGaO_2$  の混晶系  $(Li_{1-(x+y)}Na_xK_y)(Ga_{1-z}Al_z)O_2$  またはこれらのうち少なくとも 2 つを含む固溶体を用いて形成されている。

#### 【0047】

あるいは、保護層 8 は、アクリル等の樹脂により形成されていても良い。保護層 8 を樹脂で形成することにより、既存の樹脂形成装置を用いることが可能である。それゆえ、保護層 8 を形成するために複雑な成膜プロセスを用いることなく、薄膜トランジスタ 1 の製造をより容易にすることができることから、薄膜トランジスタ 1 の製造コストを低減することが可能である。また、樹脂を用いることにより、薄膜トランジスタ 1 の柔軟性を高めることができ、絶縁性基板 2 としてフレキシブル基板を用いた場合には特に好適である。

#### 【0048】

また、保護層 8 も、前記の絶縁物が複数積層されていても良い。例えば、図 2

に示すように、保護層 8 は、第 1 保護層 8 a および第 2 保護層 8 b の 2 層の積層により構成される。このような構造では、第 1 保護層 8 a を半導体層 5 との界面特性が良好な絶縁物 ( $\text{Al}_2\text{O}_3$ 、 $\text{AlN}$ 、 $\text{MgO}$ ) で形成し、第 2 保護層 8 b を雰囲気との隔絶性の良好な絶縁物 ( $\text{SiO}_2$ ) で形成することにより、信頼性の高い保護層 8 を得ることができる。

#### 【0049】

薄膜トランジスタ 1 においては、ゲート絶縁層 4、ソース電極 6、ドレイン電極 7 および保護層 8 により隔絶体が形成され、それぞれが隔絶層を形成している。

#### 【0050】

ここで、上記のように構成される薄膜トランジスタ 1 の製造方法を、図 3 (a) ないし (e) の製造工程図を用いて以下に説明する。

#### 【0051】

まず、絶縁性基板 2 に、ゲート電極 3 となるゲート電極材として Ta を 300 nm 程度の厚さでスパッタリングによって積層し、この上にフォトリソグラフィ工程にて所定の形状にレジストパターンを作製する。このレジストパターンを用いてゲート電極材に  $\text{CF}_4 + \text{O}_2$  ガスによってドライエッチングを施し、その形状にパターニングされたゲート電極 3 およびこれに接続されるゲート配線 (図示せず) を形成する (図 3 (a))。絶縁性基板 2 としては、ガラス基板、石英、プラスチック等が用いられ、ゲート電極材には Ta のほかに Al、Cr などが用いられる。

#### 【0052】

次に、ゲート絶縁層 4 として、例えば、 $\text{Al}_2\text{O}_3$  をパルスレーザー堆積法によって 500 nm 程度積層する。 $\text{Al}_2\text{O}_3$  薄膜の成膜時の基板温度は 300℃、成膜雰囲気が減圧の酸素雰囲気で、レーザーパワーが  $3.0 \text{ J/cm}^2$ 、繰り返し周波数が 10 Hz である (図 3 (b))。ここでは、ゲート絶縁膜 4 の材料として  $\text{Al}_2\text{O}_3$  を用いたが、それ以外に前述の絶縁物を用いても良い。

#### 【0053】

$\text{Al}_2\text{O}_3$  を堆積後、連続して半導体層 5 を形成するために、例えば、窒素がド

ーピングされた多結晶状態の  $\text{ZnO}$  をパルスレーザー堆積法により  $50\text{ nm}$  程度積層する。このときの堆積条件は、基板温度は  $300^\circ\text{C}$ 、成膜雰囲気が減圧の酸素と一酸化窒素との混合雰囲気、レーザーパワーが  $1.1\text{ J/cm}^2$ 、繰り返し周波数が  $10\text{ Hz}$  である。この方法により、 $\text{ZnO}$  に窒素がドーピングされる。ここでは、窒素源に一酸化窒素を用いたが、他に、一酸化二窒素、二酸化窒素、アンモニアなどの窒素を含むガスを用いても良い。また、ここでは、半導体層 5 の材料として  $\text{ZnO}$  を用いたが、 $\text{Mg}$  を含む  $\text{ZnO}$  ( $\text{Mg}_x\text{Zn}_{1-x}\text{O}$ ) を用いても良い。また、 $\text{ZnO}$  または  $\text{Mg}$  を含む  $\text{ZnO}$  は、アモルファス状態でも良く、または多結晶状態とアモルファス状態とが混在した状態でも良い。

#### 【0054】

半導体層 5 となる  $\text{ZnO}$  の積層後、フォトリソグラフィ工程にて所定の形状にレジストパターンを形成する。このレジストパターンを用いて、硝酸、酢酸等によるウェットエッチングを行うことにより、所望の形状の半導体層 5 を得る (図 3 (c))。

#### 【0055】

続いて、スパッタリング法により  $\text{Al}$  を  $200\text{ nm}$  程度成膜する。そして、その  $\text{Al}$  の層をフォトリソグラフィおよび  $\text{Cl}_2$  ガスを用いてドライエッチングによりパターンニングすることによりソース電極 6 およびドレイン電極 7 を形成する (図 3 (d))。

#### 【0056】

さらに、パルスレーザー堆積法により  $\text{Al}_2\text{O}_3$  を  $200\text{ nm}$  程度成膜する。その  $\text{Al}_2\text{O}_3$  の層を、フォトリソグラフィにより作製した所定のレジストパターンを用いて、イオンミリング等により不要部の  $\text{Al}_2\text{O}_3$  を除去することで、保護層 8 を形成し、薄膜トランジスタ 1 が完成する (図 3 (e))。ここでは、保護層 8 のための材料 (絶縁物) として  $\text{Al}_2\text{O}_3$  を用いたが、それ以外に前述の絶縁物を用いても良い。また、保護層 8 として、前記の絶縁物が複数積層されていても良い。

#### 【0057】

図 4 は、上記のようにして得られた薄膜トランジスタ 1 の  $I_d-V_g$  特性を示

している。図4から、窒素がドーピングされていないZnOを用いた薄膜トランジスタにおいて、保護層を形成した場合の $I_d-V_g$ 特性（図15に実線にて示す）と比較して、そのしきい値電圧 $V_{th}$ が0V付近にあることがわかる。このように窒素をZnOにドーピングすることで、保護層8が設けられた薄膜トランジスタ1において、しきい値電圧 $V_{th}$ を実用上問題のない電圧に制御することが可能であることがわかる。特に、ドーピング量により、しきい値電圧をマイナス側から+10V程度まで制御することが可能である。

#### 【0058】

ZnOに窒素をドーピングすることでしきい値電圧 $V_{th}$ が制御されることは、以下のように理解される。保護層の形成でZnOの表面準位が減少し、ZnO内部に空乏層が広がるバンドベンディングが解消され、ZnOは本来持っている抵抗値を示すn型半導体となり、自由電子が過剰な状態になる。V族元素の窒素はZnOに対してアクセプタ不純物として働くので、窒素をドーピングすることで過剰な自由電子が減少し、フェルミ準位がバンドギャップ中央付近に押し下げられる。これにより、過剰な自由電子を排除するためのゲート電圧が低下するので、しきい値電圧が0V付近となる。

#### 【0059】

さらに他のV族元素のP、AsまたはSbについても、例えば、上記の半導体層5を形成する場合において、基板温度300℃、成膜雰囲気が減圧の酸素雰囲気、レーザーパワー $1.1\text{ J/cm}^2$ の条件で、 $\text{Zn}_2\text{P}_3$ 、 $\text{Zn}_2\text{As}_3$ 、 $\text{Zn}_2\text{Sb}_3$ などのV族の元素を含むZn化合物をターゲットに用いてドーピングを行い、同様にしきい値電圧 $V_{th}$ を0V付近に制御でき、またドーピング量により、しきい値電圧をマイナス側から+10V程度まで制御することもできる。勿論、この方法で $\text{Zn}_2\text{N}_3$ をターゲットに用いてドーピングしても、しきい値電圧 $V_{th}$ を上記と同様に制御できる。

#### 【0060】

また、ZnOまたは $\text{Mg}_x\text{Zn}_{1-x}\text{O}$ の多結晶状態、アモルファス状態または多結晶状態とアモルファス状態とが混在する状態である半導体にI族、III族、IV族またはVII族元素をドーピングしても、同様にしきい値電圧 $V_{th}$ を制御すること

ができる。

#### 【0061】

なお、図1(a)に示す構造では、半導体層5がすべて保護層8の下に覆われているが、薄膜トランジスタ1の半導体層5におけるチャネル部分(キャリア(可動電荷)が移動する領域)に雰囲気による影響が及ばなければ、半導体層5がすべて保護層8に覆われる必要はない。例えば、図5に示すように、半導体層5がチャネル幅方向に長く延びてその両端部が保護層8から雰囲気に露出している構造では、その両端部は雰囲気の影響を受けるが、チャネル部分はその影響の及ばない程度に両端部から離間していれば、図1(a)ないし(c)に示すように、半導体層5のすべてが保護層8やゲート絶縁膜4に覆われていなくても良い。

#### 【0062】

##### 〔実施形態2〕

本発明の第2の実施形態について、図6ないし図8に基づいて説明すれば、以下の通りである。

#### 【0063】

図6(a)は、それぞれ本実施の形態に係る薄膜トランジスタ11の平面図を示している。また、図6(b)は図6(a)のC-C線矢視断面図を示し、図6(c)は図6(a)のD-D線矢視断面図を示している。なお、図6(a)においては、図の単純化のため、図6(b)および(c)に示す保護層19の表面中央部分の凹凸については、その記載を省略している。

#### 【0064】

図6(a)ないし(c)に示すように、半導体装置としての薄膜トランジスタ11は、絶縁性基板12上に形成された下地絶縁層13上にソース電極14とドレイン電極15が間隔をおいて形成され、それらの上に半導体層16、ゲート絶縁層17、ゲート電極18が順次積層され、さらに半導体層16、ゲート絶縁層17およびゲート電極18を覆う保護層19が形成され、スタガ型の構造を成している。この薄膜トランジスタ11において、半導体層16、ゲート絶縁層17およびゲート電極18は、同じ形状(図6(a)に示す半導体層16の形状)にパターンニングされて積層されている。

## 【0065】

この薄膜トランジスタ 11 が表示装置（例えば、実施形態 4 のアクティブマトリクス型液晶表示装置）に用いられる場合は、ドレイン電極 15 が絵素電極に接続されるか、もしくはドレイン電極 15 と絵素電極とが透明導電膜で一体的に形成される。

## 【0066】

下地絶縁層 13 は、絶縁物としての  $\text{SiO}_2$ 、 $\text{Al}_2\text{O}_3$ 、 $\text{AlN}$ 、 $\text{MgO}$ 、 $\text{Ta}_2\text{O}_5$ 、 $\text{TiO}_2$ 、 $\text{ZrO}_2$ 、 $\text{stab-ZrO}_2$ 、 $\text{CeO}_2$ 、 $\text{K}_2\text{O}$ 、 $\text{Li}_2\text{O}$ 、 $\text{Na}_2\text{O}$ 、 $\text{Rb}_2\text{O}$ 、 $\text{In}_2\text{O}_3$ 、 $\text{La}_2\text{O}_3$ 、 $\text{Sc}_2\text{O}_3$ 、 $\text{Y}_2\text{O}_3$ 、 $\text{KNbO}_3$ 、 $\text{KTaO}_3$ 、 $\text{BaTiO}_3$ 、 $\text{CaSnO}_3$ 、 $\text{CaZrO}_3$ 、 $\text{CdSnO}_3$ 、 $\text{SrHfO}_3$ 、 $\text{SrSnO}_3$ 、 $\text{SrTiO}_3$ 、 $\text{YScO}_3$ 、 $\text{CaHfO}_3$ 、 $\text{MgCeO}_3$ 、 $\text{SrCeO}_3$ 、 $\text{BaCeO}_3$ 、 $\text{SrZrO}_3$ 、 $\text{BaZrO}_3$ 、 $\text{LiGaO}_2$ 、 $\text{LiGaO}_2$  の混晶系  $(\text{Li}_{1-(x+y)}\text{Na}_x\text{K}_y)(\text{Ga}_{1-z}\text{Al}_z)\text{O}_2$  またはこれらのうち少なくとも 2 つを含む固溶体を用いて形成されている。この下地絶縁層 13 は、半導体層 16 の下端面におけるソース電極 14 およびドレイン電極 15 と界面を形成する領域以外の領域と界面を形成している。

## 【0067】

あるいは、下地絶縁層 13 は、アクリル等の樹脂により形成されていても良い。下地絶縁層 13 を樹脂で形成することにより、既存の樹脂形成装置を用いることが可能である。それゆえ、下地絶縁層 13 を形成するために複雑な成膜プロセスを用いることなく、薄膜トランジスタ 11 の製造をより容易にすることができることから、薄膜トランジスタ 11 の製造コストを低減することが可能である。また、樹脂を用いることにより薄膜トランジスタ 11 の柔軟性を高めることができ、絶縁性基板 12 としてフレキシブル基板を用いた場合には、特に好適である。

## 【0068】

また、下地絶縁層 13 は、前記の絶縁物が複数積層されていても良い。例えば、図 7 に示すように、下地絶縁層 13 は、第 1 絶縁層 13a および第 2 絶縁層 13b の 2 層の積層により構成される。このような構造では、第 1 絶縁層 13a を

絶縁性基板 12 との界面特性が良好な絶縁物 ( $\text{SiO}_2$ ) で形成し、第 2 絶縁層 13b を半導体層 16 との界面特性が良好な絶縁物 ( $\text{Al}_2\text{O}_3$ 、 $\text{AlN}$ 、 $\text{MgO}$ ) で形成することにより、絶縁性基板 12 上で信頼性の高い下地絶縁層 13 を得ることができる。

#### 【0069】

なお、絶縁性基板 12 がガラスまたは石英から成る場合には、下地絶縁層 13 を形成しなくても、半導体層 16 は、ガラスまたは石英の成分である  $\text{SiO}_2$  あるいは  $\text{SiO}_2$  を含む絶縁物により覆われ、雰囲気と隔絶される。

#### 【0070】

活性層としての半導体層 16 は、I 族、III 族、IV 族、V 族または VII 族元素が添加された  $\text{ZnO}$  または  $\text{Mg}_x\text{Zn}_{1-x}\text{O}$  の多結晶状態、アモルファス状態または多結晶状態とアモルファス状態とが混在する状態である半導体を用いて形成されている。添加される元素としては、I 族および V 族元素が好ましい。例えば、半導体層 16 は、窒素、リン、砒素、アンチモンまたはこれらの元素の 2 種類以上を含む  $\text{ZnO}$  または  $\text{Mg}_x\text{Zn}_{1-x}\text{O}$  の多結晶状態、アモルファス状態または多結晶状態とアモルファス状態とが混在する状態である半導体により形成されている。

#### 【0071】

ゲート絶縁層 17 は、半導体層 16 と界面を形成し、絶縁物としての  $\text{SiO}_2$ 、 $\text{Al}_2\text{O}_3$ 、 $\text{AlN}$ 、 $\text{MgO}$ 、 $\text{Ta}_2\text{O}_5$ 、 $\text{TiO}_2$ 、 $\text{ZrO}_2$ 、 $\text{st}ab-\text{ZrO}_2$ 、 $\text{CeO}_2$ 、 $\text{K}_2\text{O}$ 、 $\text{Li}_2\text{O}$ 、 $\text{Na}_2\text{O}$ 、 $\text{Rb}_2\text{O}$ 、 $\text{In}_2\text{O}_3$ 、 $\text{La}_2\text{O}_3$ 、 $\text{Sc}_2\text{O}_3$ 、 $\text{Y}_2\text{O}_3$ 、 $\text{KNbO}_3$ 、 $\text{KTaO}_3$ 、 $\text{BaTiO}_3$ 、 $\text{CaSnO}_3$ 、 $\text{CaZrO}_3$ 、 $\text{CdSnO}_3$ 、 $\text{SrHfO}_3$ 、 $\text{SrSnO}_3$ 、 $\text{SrTiO}_3$ 、 $\text{YScO}_3$ 、 $\text{CaHfO}_3$ 、 $\text{MgCeO}_3$ 、 $\text{SrCeO}_3$ 、 $\text{BaCeO}_3$ 、 $\text{SrZrO}_3$ 、 $\text{BaZrO}_3$ 、 $\text{LiGaO}_2$ 、 $\text{LiGaO}_2$  の混晶系 ( $\text{Li}_{1-(x+y)}\text{Na}_x\text{K}_y$ ) ( $\text{Ga}_{1-z}\text{Al}_z$ )  $\text{O}_2$  またはこれらのうち少なくとも 2 つを含む固溶体を用いて形成されている。また、ゲート絶縁層 17 は前記絶縁物が複数積層されていても良い。例えば、図 7 に示すように、ゲート絶縁層 17 は、第 1 絶縁層 17a および第 2 絶縁層 17b の 2 層の積層により構成される。このような構造では、第 1 絶縁層 17a を半

導体層 16 との界面特性が良好な絶縁物 ( $\text{Al}_2\text{O}_3$ 、 $\text{AlN}$ 、 $\text{MgO}$ ) で形成し、第 2 絶縁層 17b を絶縁性の良好な絶縁物 ( $\text{SiO}_2$ ) で形成することにより、半導体層 16 とゲート電極 18 との間で信頼性の高いゲート絶縁層 17 を得ることができる。

#### 【0072】

保護層 19 は、積層された半導体層 16、ゲート絶縁層 17 およびゲート電極 18 を覆うように、絶縁物としての  $\text{SiO}_2$ 、 $\text{Al}_2\text{O}_3$ 、 $\text{AlN}$ 、 $\text{MgO}$ 、 $\text{Ta}_2\text{O}_5$ 、 $\text{TiO}_2$ 、 $\text{ZrO}_2$ 、 $\text{stabb-ZrO}_2$ 、 $\text{CeO}_2$ 、 $\text{K}_2\text{O}$ 、 $\text{Li}_2\text{O}$ 、 $\text{Na}_2\text{O}$ 、 $\text{Rb}_2\text{O}$ 、 $\text{In}_2\text{O}_3$ 、 $\text{La}_2\text{O}_3$ 、 $\text{Sc}_2\text{O}_3$ 、 $\text{Y}_2\text{O}_3$ 、 $\text{KNbO}_3$ 、 $\text{KTaO}_3$ 、 $\text{BaTiO}_3$ 、 $\text{CaSnO}_3$ 、 $\text{CaZrO}_3$ 、 $\text{CdSnO}_3$ 、 $\text{SrHfO}_3$ 、 $\text{SrSnO}_3$ 、 $\text{SrTiO}_3$ 、 $\text{YScO}_3$ 、 $\text{CaHfO}_3$ 、 $\text{MgCeO}_3$ 、 $\text{SrCeO}_3$ 、 $\text{BaCeO}_3$ 、 $\text{SrZrO}_3$ 、 $\text{BaZrO}_3$ 、 $\text{LiGaO}_2$ 、 $\text{LiGaO}_2$  の混晶系 ( $\text{Li}_{1-(x+y)}\text{Na}_x\text{K}_y$ ) ( $\text{Ga}_{1-z}\text{Al}_z$ )  $\text{O}_2$  またはこれらのうち少なくとも 2 つを含む固溶体を用いて形成されている。

#### 【0073】

あるいは、保護層 19 も下地絶縁層 13 と同様、アクリル等の樹脂により形成されていても良い。これにより、下地絶縁層 13 を樹脂で形成する場合と同様の利点がある。

#### 【0074】

保護層 19 の側壁部は、特に、下地絶縁層 13、ソース電極 14 およびドレイン電極 15 と界面を形成する半導体層 16 の下端面、およびゲート絶縁層 17 と界面を形成する半導体層 16 の上端面以外の側端面を覆っている。また、保護層 19 は、前記の絶縁物が複数積層されていても良い。例えば、図 7 に示すように、保護層 19 は、第 1 保護層 19a および第 2 保護層 19b の 2 層の積層により構成される。このような構造では、第 1 保護層 19a を半導体層 16 との界面特性が良好な絶縁物 ( $\text{Al}_2\text{O}_3$ 、 $\text{AlN}$ 、 $\text{MgO}$ ) で形成し、第 2 保護層 19b を雰囲気との隔絶性の良好な絶縁物 ( $\text{SiO}_2$ ) で形成することにより、信頼性の高い保護層 19 を得ることができる。

#### 【0075】



薄膜トランジスタ 11 においては、下地絶縁層 13、ソース電極 14、ドレイン電極 15、ゲート絶縁層 17 および保護層 19 により隔絶体が形成され、それぞれが隔絶層を形成している。

#### 【0076】

ここで、上記のように構成される薄膜トランジスタ 11 の製造方法を、図 8 (a) ないし (d) の製造工程図を用いて以下に説明する。

#### 【0077】

まず、絶縁性基板 12 に下地絶縁層 13 として、 $Al_2O_3$  を 100 nm 程度の厚さでパルスレーザー堆積法により堆積する (図 8 (a))。堆積の条件は、堆積時の基板温度が 300℃、成膜雰囲気が減圧の酸素雰囲気、レーザーパワーが  $3.0 J/cm^2$ 、繰り返し周波数が 10 Hz である。ここでは、下地絶縁層 13 の材料として  $Al_2O_3$  を用いたが、それ以外に前述の絶縁物を用いても良い。

#### 【0078】

続いて、下地絶縁層 13 上にスパッタリング法等により Al を 150 nm 程度堆積する。そして、フォトリソグラフィにより、所定の形状にパターンニングしたレジストを用いてドライエッチングで Al 層の不要部を除去する。これにより、ソース電極 14 およびドレイン電極 15 が形成される (図 8 (b))。

#### 【0079】

続いて、半導体層 16 を形成するために、例えば、窒素がドーピングされた多結晶状態の ZnO をパルスレーザー堆積法により 50 nm 程度積層する。このときの堆積条件は、基板温度が 300℃、成膜雰囲気が減圧の酸素と一酸化窒素との混合雰囲気、レーザーパワーが  $1.1 J/cm^2$ 、繰り返し周波数が 10 Hz である。この方法により、ZnO に窒素がドーピングされる。ここでは、窒素源に一酸化窒素を用いたが、他に、一酸化二窒素、二酸化窒素、アンモニアなどの窒素を含むガスを用いても良い。また、ここでは、ZnO にドーピングする不純物として N を用いたが、他に、P、As、Sb を用いても良い。さらに、ここでは、半導体層 16 の材料として ZnO を用いたが、Mg を含む ZnO ( $Mg_xZn_{1-x}O$ ) を用いても良い。また、ZnO または Mg を含む ZnO は、アモルファス状

態でも良く、または多結晶状態とアモルファス状態とが混在した状態であっても良い。

#### 【0080】

半導体層 16 の堆積後、連続してゲート絶縁層 17 を形成する。ゲート絶縁層 17 として、例えば、 $\text{Al}_2\text{O}_3$  をパルスレーザー堆積法によって 500 nm 程度積層する。 $\text{Al}_2\text{O}_3$  薄膜の成膜時の条件は、基板温度が 300℃、成膜雰囲気が減圧の酸素雰囲気、レーザーパワーが  $3.0 \text{ J/cm}^2$ 、繰り返し周波数が 10 Hz である。ここでは、ゲート絶縁層 17 の材料として  $\text{Al}_2\text{O}_3$  を用いたが、それ以外に前述の絶縁物を用いても良い。

#### 【0081】

その後、ゲート電極 18 として Al 等をスパッタリング法等により 200 nm 程度積層する。そして、フォトリソグラフィにより、所定の形状にパターンニングしたレジストを用いてイオンミリング等で Al 層、ゲート絶縁層 17、半導体層 16 の不要部を除去することで、半導体層 16 およびゲート絶縁層 17 上にゲート電極 18 を形成する（図 8（c））。ここで、ゲート電極 18、ゲート絶縁層 17 および半導体層 16 の側端面は絶縁性基板 12 の上端面に対して垂直であるが、保護層 19 のカバレッジを良くするため、ゲート電極 18 から半導体層 16 側に広がっていく順テーパー形状であっても良い。

#### 【0082】

最後に、保護層 19 を積層する。保護層 19 としては、例えば、パルスレーザー堆積法により  $\text{Al}_2\text{O}_3$  を 200 nm 程度成膜する。成膜条件は、基板温度が 300℃、成膜雰囲気が減圧の酸素雰囲気、レーザーパワーが  $3.0 \text{ J/cm}^2$ 、繰り返し周波数が 10 Hz である。その後、フォトリソグラフィにより、所定のレジストパターンを用いてイオンミリング等で不要部の  $\text{Al}_2\text{O}_3$  を除去することで、保護層 19 が形成され、薄膜トランジスタ 11 が完成する（図 8（d））。ここでは、保護層 19 の材料として  $\text{Al}_2\text{O}_3$  を用いたが、 $\text{SiO}_2$ 、AlN、MgO、 $\text{Ta}_2\text{O}_5$  または  $\text{Al}_2\text{O}_3$  を加えたこれらのうち少なくとも 2 つを含む固溶体を用いても良い。

#### 【0083】

上記のようにして得られた薄膜トランジスタ 11 の  $I_d-V_g$  特性は、図 4 に示す特性と同様であり、そのしきい値電圧  $V_{th}$  が 0 V 付近に制御される。このように、薄膜トランジスタ 11 においては、半導体層 16 を ZnO に窒素をドーピングした半導体により形成することで、しきい値電圧  $V_{th}$  を実用上問題のない電圧に制御できる。

#### 【0084】

さらに他の V 族元素の P、As または Sb についても、実施形態 1 で述べたようにドーピングを行うことにより、同様にしきい値電圧  $V_{th}$  を 0 V 付近に制御できる。

#### 【0085】

また、ZnO または  $Mg_xZn_{1-x}O$  の多結晶状態、アモルファス状態または多結晶状態とアモルファス状態とが混在する状態である半導体に I 族、III 族、IV 族または VII 族元素をドーピングしても、同様にしきい値電圧  $V_{th}$  を制御することができる。

#### 【0086】

なお、図 6 (a) ないし (c) に示す構造では、半導体層 16 がすべて、下地絶縁層 13、ソース電極 14、ドレイン電極 15、ゲート絶縁膜 17 および保護層 19 に覆われているが、薄膜トランジスタ 11 の半導体層 16 におけるチャネル部分（キャリアが移動する領域）に雰囲気による影響が及ばなければ、半導体層 16 がすべて覆われる必要はない。例えば、図 6 (a) に二点鎖線で示すように、半導体層 16 と、半導体層 16 と同一形状を成すゲート絶縁層 17 およびゲート電極 18 とがチャネル幅方向に長く伸びてその両端部が保護層 19 から雰囲気に出ている構造では、その両端にある半導体層 16 の側端面は雰囲気の影響を受けるが、チャネル部分はその影響の及ばない程度に両端部から離間していれば、半導体層 16 のすべてが覆われていなくても良い。

#### 【0087】

##### 〔実施形態 3〕

本発明の第 3 の実施形態について、図 9 ないし図 11 に基づいて説明すれば、以下の通りである。

## 【0088】

図9 (a) は、本実施の形態に係る薄膜トランジスタ21の平面図を示している。また、図9 (b) は図9 (a) のE-E線矢視断面図を示し、図9 (c) は図9 (a) のF-F線矢視断面図を示している。

## 【0089】

図9 (a) ないし (c) に示すように、半導体装置としての薄膜トランジスタ21は、絶縁性基板22上に形成された下地絶縁層23上にソース電極24とドレイン電極25が形成され、その上に半導体層26、第1のゲート絶縁層27を形成する。この半導体層26と第1のゲート絶縁層27は第2のゲート絶縁層28で覆われ、第2のゲート絶縁層28は半導体層26の保護層も兼ねている。第2のゲート絶縁層28の上にゲート電極29が形成され、薄膜トランジスタ21を成している。

## 【0090】

また、この薄膜トランジスタ21が表示装置（例えば、実施形態4のアクティブマトリクス型液晶表示装置）に用いられる場合は、ドレイン電極25が絵素電極に接続されるか、もしくはドレイン電極25と絵素電極とが透明導電膜で一体的に形成される。

## 【0091】

下地絶縁層23は、絶縁物としての $\text{SiO}_2$ 、 $\text{Al}_2\text{O}_3$ 、 $\text{AlN}$ 、 $\text{MgO}$ 、 $\text{Ta}_2\text{O}_5$ 、 $\text{TiO}_2$ 、 $\text{ZrO}_2$ 、 $\text{stab-ZrO}_2$ 、 $\text{CeO}_2$ 、 $\text{K}_2\text{O}$ 、 $\text{Li}_2\text{O}$ 、 $\text{Na}_2\text{O}$ 、 $\text{Rb}_2\text{O}$ 、 $\text{In}_2\text{O}_3$ 、 $\text{La}_2\text{O}_3$ 、 $\text{Sc}_2\text{O}_3$ 、 $\text{Y}_2\text{O}_3$ 、 $\text{KNbO}_3$ 、 $\text{KTaO}_3$ 、 $\text{BaTiO}_3$ 、 $\text{CaSnO}_3$ 、 $\text{CaZrO}_3$ 、 $\text{CdSnO}_3$ 、 $\text{SrHfO}_3$ 、 $\text{SrSnO}_3$ 、 $\text{SrTiO}_3$ 、 $\text{YScO}_3$ 、 $\text{CaHfO}_3$ 、 $\text{MgCeO}_3$ 、 $\text{SrCeO}_3$ 、 $\text{BaCeO}_3$ 、 $\text{SrZrO}_3$ 、 $\text{BaZrO}_3$ 、 $\text{LiGaO}_2$ 、 $\text{LiGaO}_2$ の混晶系 $(\text{Li}_{1-(x+y)}\text{Na}_x\text{K}_y)(\text{Ga}_{1-z}\text{Al}_z)\text{O}_2$ またはこれらのうち少なくとも2つを含む固溶体を用いて形成されている。

## 【0092】

あるいは、下地絶縁層23は、アクリル等の樹脂により形成されていても良い。下地絶縁層23を樹脂で形成することにより、既存の樹脂形成装置を用いるこ

とが可能である。それゆえ、下地絶縁層 23 を形成するために複雑な成膜プロセスを用いることなく、薄膜トランジスタ 21 の製造をより容易にすることができることから、薄膜トランジスタ 21 の製造コストを低減することが可能である。また、樹脂を用いることにより薄膜トランジスタ 21 の柔軟性を高めることができ、絶縁性基板 22 としてフレキシブル基板を用いた場合には特に好適である。

#### 【0093】

この下地絶縁層 23 は、半導体層 26 の下端面におけるソース電極 24 およびドレイン電極 25 と界面を形成する領域以外の領域と界面を形成している。また、下地絶縁層 23 は、前記の絶縁物が複数積層されていても良い。例えば、図 10 に示すように、下地絶縁層 23 は、第 1 絶縁層 23a および第 2 絶縁層 23b の 2 層の積層により構成される。このような構造では、第 1 絶縁層 23a を絶縁性基板 22 との界面特性が良好な絶縁物 ( $\text{SiO}_2$ ) で形成し、第 2 絶縁層 23b を半導体層 26 との界面特性が良好な絶縁物 ( $\text{Al}_2\text{O}_3$ 、 $\text{AlN}$ 、 $\text{MgO}$ ) で形成することにより、絶縁性基板 22 上で信頼性の高い下地絶縁層 23 を得ることができる。

#### 【0094】

なお、絶縁性基板 22 がガラス基板、石英から成る場合には、下地絶縁層 23 を形成しなくても半導体層 26 は、ガラスまたは石英の成分である  $\text{SiO}_2$  あるいは  $\text{SiO}_2$  を含む絶縁物により覆われ、雰囲気と隔絶される。

#### 【0095】

半導体層 26 は、I 族、III 族、IV 族、V 族または VII 族元素が添加された  $\text{ZnO}$  または  $\text{Mg}_x\text{Zn}_{1-x}\text{O}$  の多結晶状態、アモルファス状態または多結晶状態とアモルファス状態とが混在する状態である半導体を用いて形成されている。添加される元素としては、I 族および V 族元素が好ましい。例えば、半導体層 26 は、銻素、リン、砒素、アンチモンまたはこれらの 2 種類以上を含む  $\text{ZnO}$  または  $\text{Mg}_x\text{Zn}_{1-x}\text{O}$  の多結晶状態、アモルファス状態または多結晶状態とアモルファス状態とが混在する状態である半導体により形成されている。

#### 【0096】

第 1 のゲート絶縁層 27 は、半導体層 26 と界面を形成し、絶縁物としての S

$\text{SiO}_2$ 、 $\text{Al}_2\text{O}_3$ 、 $\text{AlN}$ 、 $\text{MgO}$ 、 $\text{Ta}_2\text{O}_5$ 、 $\text{TiO}_2$ 、 $\text{ZrO}_2$ 、 $\text{stab-ZrO}_2$ 、 $\text{CeO}_2$ 、 $\text{K}_2\text{O}$ 、 $\text{Li}_2\text{O}$ 、 $\text{Na}_2\text{O}$ 、 $\text{Rb}_2\text{O}$ 、 $\text{In}_2\text{O}_3$ 、 $\text{La}_2\text{O}_3$ 、 $\text{Sc}_2\text{O}_3$ 、 $\text{Y}_2\text{O}_3$ 、 $\text{KNbO}_3$ 、 $\text{KTaO}_3$ 、 $\text{BaTiO}_3$ 、 $\text{CaSnO}_3$ 、 $\text{CaZrO}_3$ 、 $\text{CdSnO}_3$ 、 $\text{SrHfO}_3$ 、 $\text{SrSnO}_3$ 、 $\text{SrTiO}_3$ 、 $\text{YScO}_3$ 、 $\text{CaHfO}_3$ 、 $\text{MgCeO}_3$ 、 $\text{SrCeO}_3$ 、 $\text{BaCeO}_3$ 、 $\text{SrZrO}_3$ 、 $\text{BaZrO}_3$ 、 $\text{LiGaO}_2$ 、 $\text{LiGaO}_2$ の混晶系  $(\text{Li}_{1-(x+y)}\text{Na}_x\text{K}_y)(\text{Ga}_{1-z}\text{Al}_z)\text{O}_2$  またはこれらのうち少なくとも2つを含む固溶体を用いて形成されている。また、第1のゲート絶縁層27は、前記の絶縁物が複数積層されていても良い。例えば、図10に示すように、ゲート絶縁層27は、第1絶縁層27aおよび第2絶縁層27bの2層の積層により構成される。このような構造では、第1絶縁層27aを半導体層26との界面特性が良好な絶縁物 ( $\text{Al}_2\text{O}_3$ 、 $\text{AlN}$ 、 $\text{MgO}$ ) で形成し、第2絶縁層27bを絶縁性の良好な絶縁物 ( $\text{SiO}_2$ ) で形成することにより、半導体層26と第2のゲート絶縁層28との間で信頼性の高いゲート絶縁層27を得ることができる。

#### 【0097】

第2のゲート絶縁層28は、積層された半導体層26および第1のゲート絶縁層27を覆うように、絶縁物としての  $\text{SiO}_2$ 、 $\text{Al}_2\text{O}_3$ 、 $\text{AlN}$ 、 $\text{MgO}$ 、 $\text{Ta}_2\text{O}_5$ 、 $\text{TiO}_2$ 、 $\text{ZrO}_2$ 、 $\text{stab-ZrO}_2$ 、 $\text{CeO}_2$ 、 $\text{K}_2\text{O}$ 、 $\text{Li}_2\text{O}$ 、 $\text{Na}_2\text{O}$ 、 $\text{Rb}_2\text{O}$ 、 $\text{In}_2\text{O}_3$ 、 $\text{La}_2\text{O}_3$ 、 $\text{Sc}_2\text{O}_3$ 、 $\text{Y}_2\text{O}_3$ 、 $\text{KNbO}_3$ 、 $\text{KTaO}_3$ 、 $\text{BaTiO}_3$ 、 $\text{CaSnO}_3$ 、 $\text{CaZrO}_3$ 、 $\text{CdSnO}_3$ 、 $\text{SrHfO}_3$ 、 $\text{SrSnO}_3$ 、 $\text{SrTiO}_3$ 、 $\text{YScO}_3$ 、 $\text{CaHfO}_3$ 、 $\text{MgCeO}_3$ 、 $\text{SrCeO}_3$ 、 $\text{BaCeO}_3$ 、 $\text{SrZrO}_3$ 、 $\text{BaZrO}_3$ 、 $\text{LiGaO}_2$ 、 $\text{LiGaO}_2$ の混晶系  $(\text{Li}_{1-(x+y)}\text{Na}_x\text{K}_y)(\text{Ga}_{1-z}\text{Al}_z)\text{O}_2$  またはこれらのうち少なくとも2つを含む固溶体を用いて形成されている。

#### 【0098】

あるいは、第2のゲート絶縁層28も下地絶縁層23と同様、アクリル等の樹脂により形成されていても良い。これにより、下地絶縁層23を樹脂で形成する場合と同様の利点がある。

#### 【0099】

第2のゲート絶縁層28の側壁部は、特に、下地絶縁層23、ソース電極24およびドレイン電極25と界面を形成する半導体層26の下端面、および第1のゲート絶縁層27と界面を形成する半導体層26の上端面以外の側端面を覆っている。このように、第2のゲート絶縁層28は、ゲート電極29の下側で半導体層26の側端面を覆う保護層の役割を果たし、かつ第1のゲート絶縁層27とでゲート絶縁層としての十分な厚さを確保するために設けられている。

#### 【0100】

また、第2のゲート絶縁層28は、前記の絶縁物が複数積層されていても良い。例えば、図10に示すように、第2のゲート絶縁層28は、下部絶縁層28aおよび上部絶縁層28bの2層の積層により構成される。このような構造では、第1絶縁層28aを半導体層26との界面特性の良好な絶縁物 ( $\text{Al}_2\text{O}_3$ 、 $\text{AlN}$ 、 $\text{MgO}$ ) で形成し、第2絶縁層28bを隔絶性が良好な絶縁物 ( $\text{SiO}_2$ ) で形成することにより、第1のゲート絶縁層27とゲート電極29との間で信頼性の高い第2のゲート絶縁層28を得ることができる。

#### 【0101】

薄膜トランジスタ21においては、下地絶縁層23、ソース電極24、ドレイン電極25、第1のゲート絶縁層27および第2のゲート絶縁層29により隔絶体が形成され、それぞれが隔絶層を形成している。

#### 【0102】

ここで、上記のように構成される薄膜トランジスタ21の製造方法を、図11(a)ないし(d)の製造工程図を用いて以下に説明する。

#### 【0103】

まず、絶縁性基板12に下地絶縁層23として、例えば、 $\text{Al}_2\text{O}_3$ を100nm程度の厚さでパルスレーザー堆積法により堆積する(図11(a))。堆積の条件は、基板温度が300℃、成膜雰囲気が減圧の酸素雰囲気、レーザーパワーが3.0 J/cm<sup>2</sup>、繰り返し周波数が10 Hzである。ここでは、下地絶縁層23の材料として $\text{Al}_2\text{O}_3$ を用いたが、それ以外に前述の絶縁物を用いても良い。

#### 【0104】

続いて、下地絶縁層 23 上にスパッタリング法等により Al を 150 nm 程度堆積し、フォトリソグラフィで所定の形状にレジストをパターンニングし、ドライエッチングにより不要部を除去し、ソース電極 24 およびドレイン電極 25 を形成する (図 11 (b))。

#### 【0105】

続いて、半導体層 26 を形成するために、例えば、窒素がドーピングされた多結晶状態の ZnO をパルスレーザー堆積法により 50 nm 程度積層する。このときの堆積条件は、基板温度が 300℃、成膜雰囲気が減圧の酸素と一酸化窒素との混合雰囲気、レーザーパワーが  $1.1 \text{ J/cm}^2$ 、繰り返し周波数が 10 Hz である。この方法により、ZnO に窒素がドーピングされる。ここでは、窒素源に一酸化窒素を用いたが、他に、一酸化二窒素、二酸化窒素、アンモニアなどの窒素を含むガスを用いても良い。また、ここでは、ZnO にドーブする不純物として N を用いたが、他に、P、As、Sb を用いても良い。さらに、ここでは、半導体層 26 の材料として ZnO を用いたが、Mg を含む ZnO ( $\text{Mg}_x\text{Zn}_{1-x}\text{O}$ ) を用いても良い。また、ZnO または Mg を含む ZnO は、アモルファス状態でも良く、または多結晶状態とアモルファス状態とが混在した状態であっても良い。

#### 【0106】

半導体層 26 の堆積後、連続して第 1 のゲート絶縁層 27 を積層する。第 1 のゲート絶縁層 27 として、例えば、 $\text{Al}_2\text{O}_3$  をパルスレーザー堆積法によって 50 nm 程度積層する。 $\text{Al}_2\text{O}_3$  薄膜の成膜時の条件は、基板温度が 300℃、成膜雰囲気が減圧の酸素雰囲気、レーザーパワーが  $3.0 \text{ J/cm}^2$ 、繰り返し周波数が 10 Hz である。ここでは、第 1 のゲート絶縁膜 27 の材料として  $\text{Al}_2\text{O}_3$  を用いたが、それ以外に前述の絶縁物を用いても良い。また、第 1 のゲート絶縁膜 27 として、前記の絶縁物が複数積層されていても良い。

#### 【0107】

その後、フォトリソグラフィにより、所定の形状にパターンニングしたレジストを用いてイオンミリング等で不要部を除去することで、第 1 のゲート絶縁層 27 および半導体層 26 を形成する (図 11 (c))。ここで、第 1 のゲート絶縁層



27 および半導体層 26 の側端面は絶縁性基板 22 の上端面に対して垂直であるが、第 2 のゲート絶縁層 28 のカバレッジを良くするため、第 1 のゲート絶縁膜 27 から半導体層 26 側に拡がっていく順テーパー形状であっても良い。

#### 【0108】

続いて、第 2 のゲート絶縁膜 28 を積層する。第 2 のゲート絶縁層 28 としては、例えば、パルスレーザー堆積法により  $\text{Al}_2\text{O}_3$  を 450 nm 程度成膜する。成膜条件は、基板温度が 300℃、成膜雰囲気が減圧の酸素雰囲気、レーザーパワーが  $3.0 \text{ J/cm}^2$ 、繰り返し周波数が 10 Hz である。ここでは、第 2 ゲート絶縁膜 28 の材料として  $\text{Al}_2\text{O}_3$  を用いたが、それ以外に前述の絶縁物を用いても良い。また、第 2 のゲート絶縁膜 28 として、前記の絶縁物が複数積層されていても良い。

#### 【0109】

その後、ゲート電極 29 を形成するために、A1 等をスパッタリング法等により 200 nm 程度積層する。そして、フォトリソグラフィにより、所定の形状にパターニングしたレジストを用いてイオンミリング等でゲート電極 29 および第 2 のゲート絶縁膜 28 の不要部を除去することで、薄膜トランジスタ 21 が完成する (図 11 (d))。

#### 【0110】

上記のようにして得られた薄膜トランジスタ 11 の  $I_d - V_g$  特性は、図 4 に示す特性と同様であり、そのしきい値電圧  $V_{th}$  が 0 V 付近に制御される。このように、薄膜トランジスタ 21 においては、半導体層 26 を  $\text{ZnO}$  に窒素をドーピングした半導体により形成することで、しきい値電圧  $V_{th}$  を実用上問題のない電圧に制御できる。

#### 【0111】

さらに他の V 族元素の P、As または Sb についても、実施形態 1 で述べたようにドーピングを行うことにより、同様にしきい値電圧  $V_{th}$  を 0 V 付近に制御できる。

#### 【0112】

また、 $\text{ZnO}$  または  $\text{Mg}_x\text{Zn}_{1-x}\text{O}$  の多結晶状態、アモルファス状態または多

結晶状態とアモルファス状態とが混在する状態である半導体に I 族、III 族、IV 族または VII 族元素をドーピングしても、同様にしきい値電圧  $V_{th}$  を制御することができる。

#### 【0113】

なお、図 9 (a) ないし (c) に示す構造では、半導体層 26 がすべて、下地絶縁層 23、ソース電極 24、ドレイン電極 25、第 1 のゲート絶縁膜 27 および第 2 のゲート絶縁層 28 に覆われているが、薄膜トランジスタ 21 の半導体層 26 におけるチャネル部分（キャリアが移動する領域）に雰囲気による影響が及ばなければ、半導体層 26 がすべて覆われる必要はない。例えば、図 9 (a) に二点鎖線で示すように、半導体層 26 と第 1 のゲート絶縁層 27 とがチャネル幅方向に長く伸びてその両端部が第 2 のゲート絶縁層 28 から雰囲気に出露している構造では、その両端部にある半導体層 26 の側端面は雰囲気の影響を受けるが、チャネル部分がその影響の及ばない程度に両端部から離間していれば、半導体層 26 のすべてが覆われていなくても良い。

#### 【0114】

##### 〔実施形態 4〕

本発明の第 4 の実施形態について、図 12 および図 13 に基づいて説明すれば、以下の通りである。なお、本実施の形態において、前述の実施の形態 1 および 3 における構成要素と同等の機能を有する構成要素については、同じ符号を付記してその説明を省略する。

#### 【0115】

図 12 に示すように、本実施の形態に係る表示装置は、アクティブマトリクス型の液晶表示装置であって、絵素アレイ 31 と、ソースドライバ 32 と、ゲートドライバ 33 と、制御回路 34 と、電源回路 35 とを備えている。

#### 【0116】

絵素アレイ 31、ソースドライバ 32 およびゲートドライバ 33 は、基板 36 上に形成されている。基板 36 は、ガラスのような絶縁性かつ透光性を有する材料により形成されている。絵素アレイ 31 は、ソースライン  $SL\cdots$  と、ゲートライン  $GL\cdots$  と、絵素 37  $\cdots$  とを有している。

## 【0117】

絵素アレイ 31 においては、多数のゲートライン  $GL_j$ ,  $GL_{j+1}$ …と多数のソースライン  $SL_i$ ,  $SL_{i+1}$ …とが交差する状態で配されており、隣接する 2 本のゲートライン  $GL$ ,  $GL$  と隣接する 2 本のソースライン  $SL$ ,  $SL$  とで包囲された部分に絵素 (図中、PIX にて示す) 37 が設けられている。このように、絵素 37…は、絵素アレイ 31 内でマトリクス状に配列されており、1 列あたりに 1 本のソースライン  $SL$  が割り当てられ、1 行あたりに 1 本のゲートライン  $GL$  が割り当てられている。

## 【0118】

液晶ディスプレイの場合、各絵素 31 は、図 13 に示すように、スイッチング素子であるトランジスタ  $T$  と、液晶容量  $C_L$  を有する絵素容量  $C_p$  とによって構成されている。一般に、アクティブマトリクス型液晶ディスプレイにおける絵素容量  $C_p$  は、表示を安定させるために、液晶容量  $C_L$  と並行に付加された補助容量  $C_s$  を有している。補助容量  $C_s$  は、液晶容量  $C_L$  やトランジスタ  $T$  のリーク電流、トランジスタ  $T$  のゲート・ソース間容量、絵素電極・信号線間容量等の寄生容量による絵素電位の変動、液晶容量  $C_L$  の表示データ依存性等の影響を最小限に抑えるために必要となる。

## 【0119】

トランジスタ  $T$  のゲートは、ゲートライン  $GL_j$  に接続されている。また、液晶容量  $C_L$  および補助容量  $C_s$  の一方の電極は、トランジスタ  $T$  のドレインおよびソースを介してソースライン  $SL_j$  に接続されている。ドレインに接続される液晶容量  $C_L$  の電極は、絵素電極 37a を形成している。液晶容量  $C_L$  の他方の電極は、液晶セルを挟んで対向電極に接続され、補助容量  $C_s$  の他方の電極は、全絵素に共通の図示しない共通電極線 (Cs on Common 構造の場合)、または隣接するゲートライン  $GL$  (Cs on Gate 構造の場合) に接続されている。

## 【0120】

多数のゲートライン  $GL_j$ ,  $GL_{j+1}$ …は、ゲートドライバ 33 に接続され、多数のデータ信号線  $SL_i$ ,  $SL_{i+1}$ …は、ソースドライバ 32 に接続されている。また、ゲートドライバ 33 およびソースドライバ 32 は、それぞれ異なる電源電

圧  $V_{GH}$ ,  $V_{GL}$  と電源電圧  $V_{SH}$ ,  $V_{SL}$  とにより駆動されている。

#### 【0121】

ソースドライバ 32 は、制御回路 34 により与えられた画像信号  $DAT$  を制御回路 34 からの同期信号  $CKS$  およびスタートパルス  $SPS$  に基づいてサンプリングして各列の画素に接続されたソースライン  $SL_i$ ,  $SL_{i+1}$  … に出力するようになっている。ゲートドライバ 33 は、制御回路 34 からの同期信号  $CKG \cdot GPS$  およびスタートパルス  $SPG$  に基づいて各行の絵素 37 … に接続されたゲートライン  $GL_j$ ,  $GL_{j+1}$  … に与えるゲート信号を発生するようになっている。

#### 【0122】

電源回路 35 は、電源電圧  $V_{SH}$ ,  $V_{SL}$ ,  $V_{GH}$ ,  $V_{GL}$ 、接地電位  $COM$  および電圧  $V_{BB}$  を発生する回路である。電源電圧  $V_{SH}$ ,  $V_{SL}$  は、それぞれレベルの異なる電圧であり、ソースドライバ 32 に与えられる。電源電圧  $V_{GH}$ ,  $V_{GL}$  は、それぞれレベルの異なる電圧であり、ゲートドライバ 33 に与えられる。接地電位  $COM$  は、基板 36 に設けられる図示しない共通電極線に与えられる。

#### 【0123】

トランジスタ  $T$  は、ゲートドライバ 33 からゲートライン  $GL_j$  を介して与えられるゲート信号によって  $ON$  すると、ソースドライバ 32 からソースライン  $SL_{i+1}$  を介して与えられる画像信号を絵素 37 (絵素電極 37a) に書き込む。また、トランジスタ  $T$  は、前述の実施の形態 1 ないし 3 における薄膜トランジスタ 1, 11, 21 (図 1 (a)、図 6 (a)、図 9 (a) 参照) である。薄膜トランジスタ 1, 11, 21 は、前述のように、しきい値電圧  $V_{th}$  を実用上問題のない電圧に制御が可能であることから、上記のような液晶表示装置に適用する場合、適切なしきい値電圧が 0 ~ 3 V 程度であるので、ドーピング量により、最適なしきい値電圧を設定することができる。したがって、この薄膜トランジスタ 1, 11, 21 を絵素 37 を駆動するトランジスタ  $T$  に実用上問題なく用いることができる。

#### 【0124】

また、ソースドライバ 32 およびゲートドライバ 33 を構成する回路素子のうち、トランジスタで構成される回路において、各トランジスタとして前述の薄膜

トランジスタ 1, 11, 21 を、実用上問題なく用いることができる。

#### 【0125】

また、絵素 37 のトランジスタ T と駆動回路のトランジスタとを同じトランジスタ 1, 11, 21 で構成することによって、これらのトランジスタを同一の基板 36 上に同じプロセスを用いて同時に作製することが可能になる。それゆえ、マトリクス表示装置の製造工程が削減されるので、マトリクス表示装置の低コストかを図ることができる。

#### 【0126】

以上のように、絵素 37 用のトランジスタ T および駆動回路用のトランジスタとして薄膜トランジスタ 1, 11, 21 を用いても、しきい値が適正に制御されるので、動作の安定したマトリクス表示装置を提供することが可能になる。

#### 【0127】

以上、本実施の形態および前記の他の実施の形態において、幾つかの例を示したが、本発明は、上記の各実施の形態に限定されることなく、同様の概念に基づく全ての構成に適用される。

#### 【0128】

例えば、実施形態 1 ないし 3 では、薄膜トランジスタ 1, 11, 21 について例示したが、 $ZnO$  または  $Mg_xZn_{1-x}O$  を活性層に用い、かつ保護層の付与された構造において、同様に  $ZnO$  に窒素等がドーピングされた構成であれば、pn 接合ダイオード、ショットキーダイオード、バイポーラトランジスタ、ショットキー障壁電界効果トランジスタ、接合型電界効果トランジスタ等にも本発明が適用可能である。

#### 【0129】

また、実施形態 4 では、電子デバイスとしてアクティブマトリクス型の液晶表示装置について例示したが、他の表示装置、例えば有機 EL 表示装置やフレキシブル表示装置についても、同様に薄膜トランジスタ 1, 11, 21 をスイッチング素子として用いていれば、本発明の適用が可能である。

#### 【0130】

さらに、本発明が適用可能な表示装置以外の電子デバイスとしては、薄膜トラ

ンジスタ 1, 11, 21 をイメージ読み出し用のスイッチング素子として用いた、ライン型イメージスキャナ、マトリクス型イメージスキャナ、X線イメージセンサ等が挙げられる。このようなスキャナやセンサでは、電荷蓄積容量に蓄積された電荷を読み出すために絵素電極とソースラインとの間に接続されたスイッチング素子をゲートラインに付与されたゲート電圧（走査信号）で ON する。図 12 に示す液晶表示装置の絵素 37 における液晶容量  $C_L$  および補助容量  $C_S$  を電荷蓄積容量に置き換えることにより、トランジスタ T をスイッチング素子として備えるスキャナやセンサにおける画像信号を読み出す部分を構成することができる。この構成では、ソースドライバ 32 が、絵素から読み出された画像信号の入力回路に置き換えられる。また、ライン型のスキャナでは絵素を 1 ライン分用いればよい。

#### 【0131】

##### 【発明の効果】

以上のように、本発明の半導体装置は、 $ZnO$  または  $Mg_xZn_{1-x}O$  の多結晶状態、アモルファス状態または多結晶状態とアモルファス状態とが混在する状態である半導体から成り、I 族、III 族、IV 族、V 族または VII 族の元素が添加されている活性層と、前記活性層を、前記活性層において可動電荷が移動する領域が雰囲気の影響を受けない範囲で雰囲気から隔絶する隔絶体とを備えている構成である。

#### 【0132】

このように、雰囲気に対して敏感な  $ZnO$  または  $Mg_xZn_{1-x}O$  を隔絶体によって雰囲気から隔絶し、かつ I 族、III 族、IV 族、V 族または VII 族の元素を  $ZnO$  または  $Mg_xZn_{1-x}O$  に添加することで、隔絶体によって活性層に発生する可動電荷を減少させることができる。これにより、素子特性が雰囲気により左右されず安定し、かつ実用可能な範囲にしきい値電圧を制御可能となる  $ZnO$  または  $Mg_xZn_{1-x}O$  を用いた半導体装置を提供することができるという効果を奏する。

##### 【図面の簡単な説明】

#### 【図 1】

(a) は本発明の第 1 の実施形態に係る薄膜トランジスタの構成を示す平面図であり、(b) は (a) の A-A 線矢視断面図であり、(c) は (a) の B-B 線矢視断面図である。

【図 2】

第 1 の実施形態に係る薄膜トランジスタの他の構成を示す断面図である。

【図 3】

(a) ないし (e) は図 1 の薄膜トランジスタの製造工程を示す断面図である。

【図 4】

第 1 ないし第 3 の実施形態に係る薄膜トランジスタの  $I_d - V_g$  特性を示す図である。

【図 5】

第 1 の実施形態に係る薄膜トランジスタのさらに他の構成を示す平面図である。

【図 6】

(a) は本発明の第 2 の実施形態に係る薄膜トランジスタの構成を示す平面図であり、(b) は (a) の C-C 線矢視断面図であり、(c) は (a) の D-D 線矢視断面図である。

【図 7】

第 2 の実施形態に係る薄膜トランジスタの他の構成を示す断面図である。

【図 8】

(a) ないし (d) は図 6 の薄膜トランジスタの製造工程を示す断面図である。

【図 9】

(a) は本発明の第 3 の実施形態に係る薄膜トランジスタの構成を示す平面図であり、(b) は (a) の E-E 線矢視断面図であり、(c) は (a) の F-F 線矢視断面図である。

【図 10】

第 3 の実施形態に係る薄膜トランジスタの他の構成を示す断面図である。

## 【図 11】

(a) ないし (d) は図 9 の薄膜トランジスタの製造工程を示す断面図である。

## 【図 12】

本発明の第 4 の実施形態に係るアクティブマトリクス型の液晶表示装置の概略構成を示すブロック図である。

## 【図 13】

図 12 の液晶表示装置における絵素の構成を示す回路図である。

## 【図 14】

(a) 従来の保護層を有していない薄膜トランジスタの構成を示す断面図であり、(b) 従来の保護層を有している薄膜トランジスタの構成を示す断面図である。

## 【図 15】

保護層の有無による薄膜トランジスタの  $I_d - V_g$  特性を示す図である。

## 【図 16】

保護層の有無による酸化亜鉛薄膜の電圧－抵抗率の特性を示す図である。

## 【符号の説明】

1, 11, 21	薄膜トランジスタ（半導体装置）
2, 12, 22	絶縁性基板
3, 18, 29	ゲート電極
4, 17	ゲート絶縁層（隔絶層）
5, 16, 26	半導体層（活性層）
6, 14, 24	ソース電極（隔絶層）
7, 15, 25	ドレイン電極（隔絶層）
8, 19	保護層（隔絶層）
13, 23	下地絶縁層（隔絶層）
27	第 1 のゲート絶縁層（隔絶層）
28	第 2 のゲート絶縁層（隔絶層）
37	絵素





3 7 a

絵素電極

S L j

ソースライン

G L i

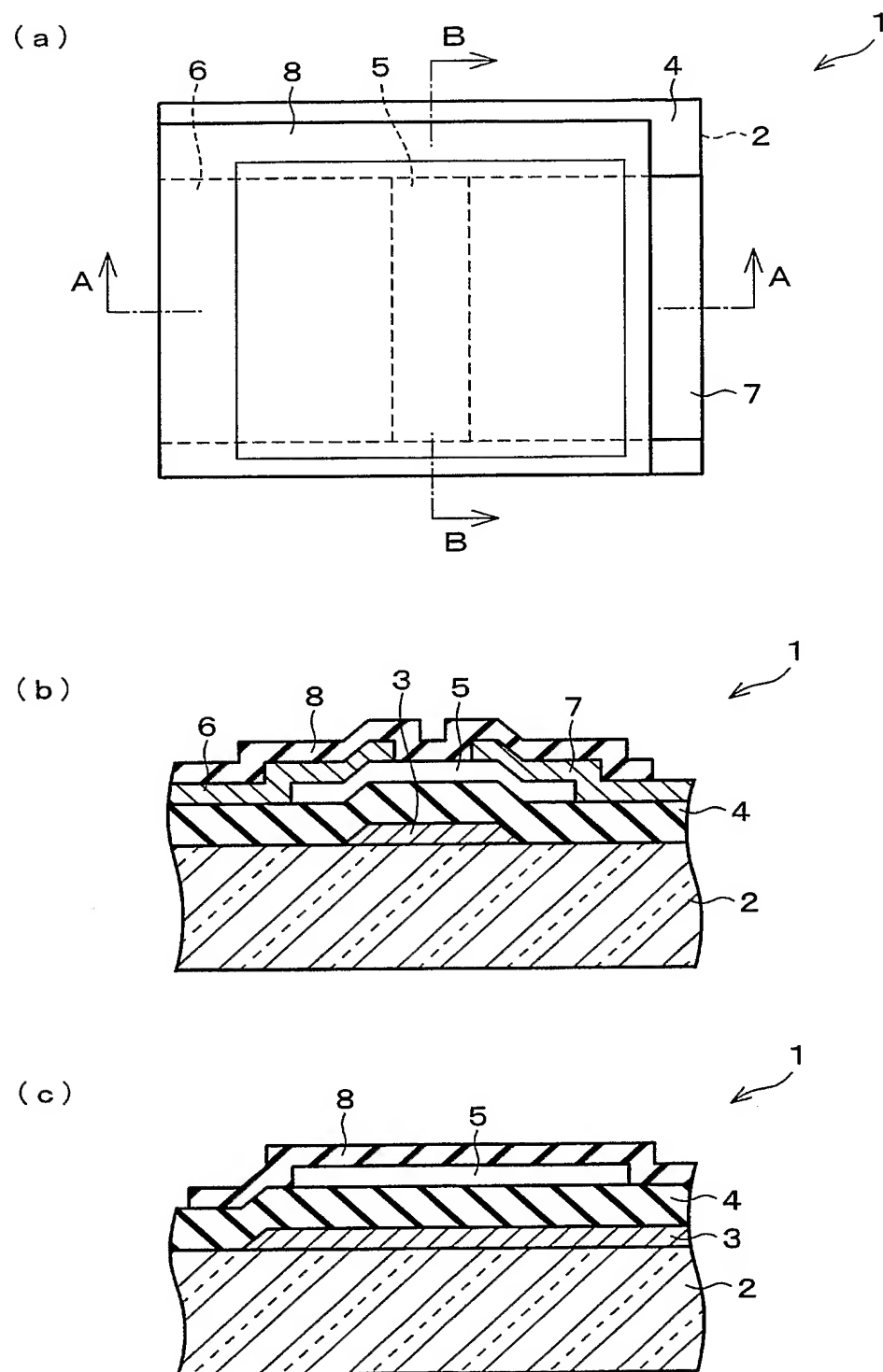
ゲートライン

T

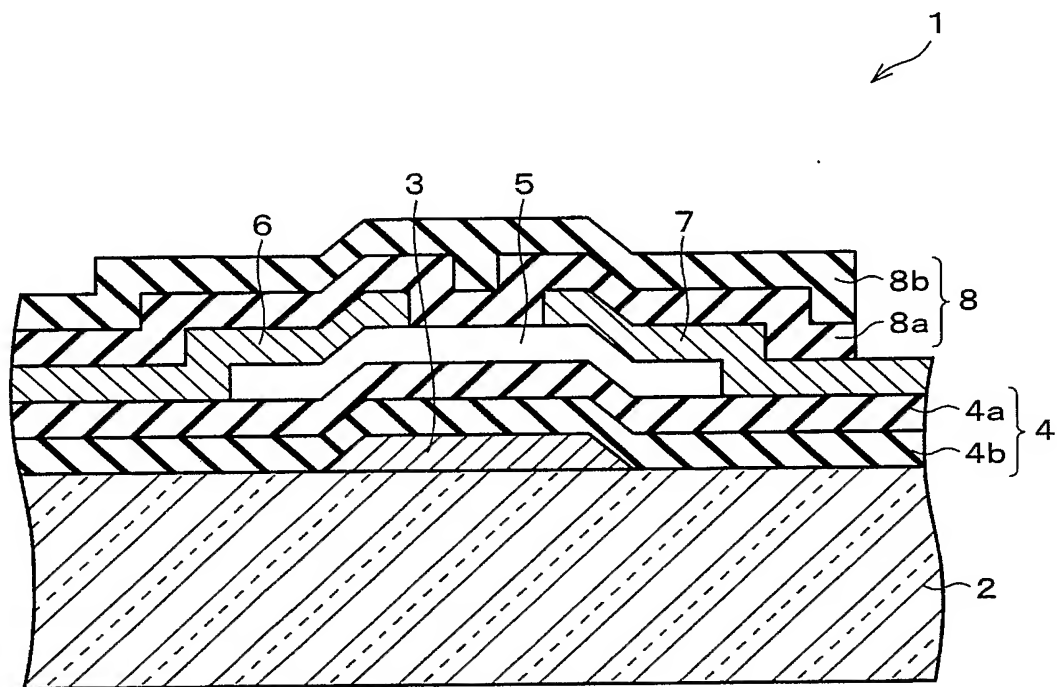
トランジスタ (スイッチング素子)

【書類名】 図面

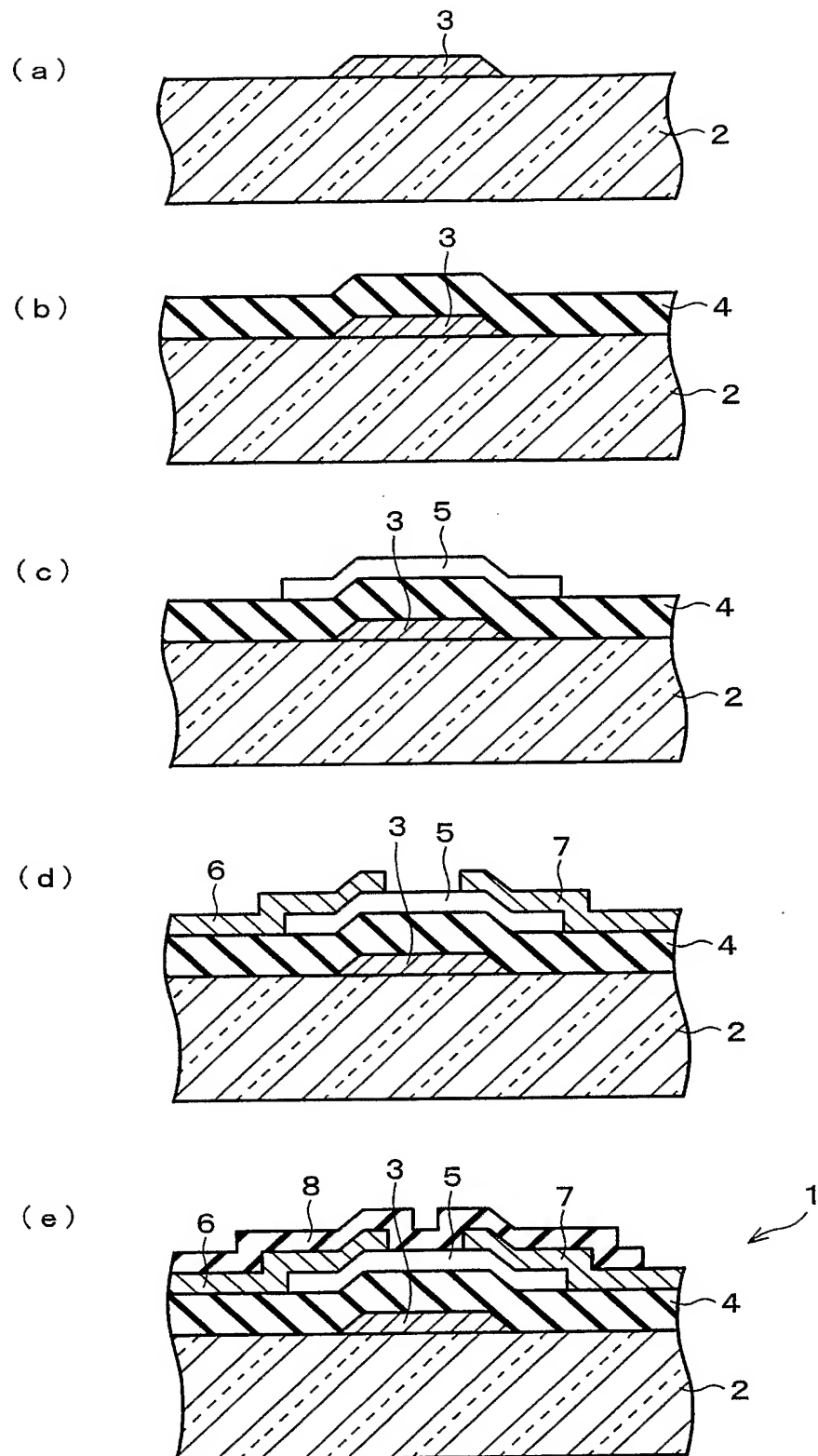
【図 1】



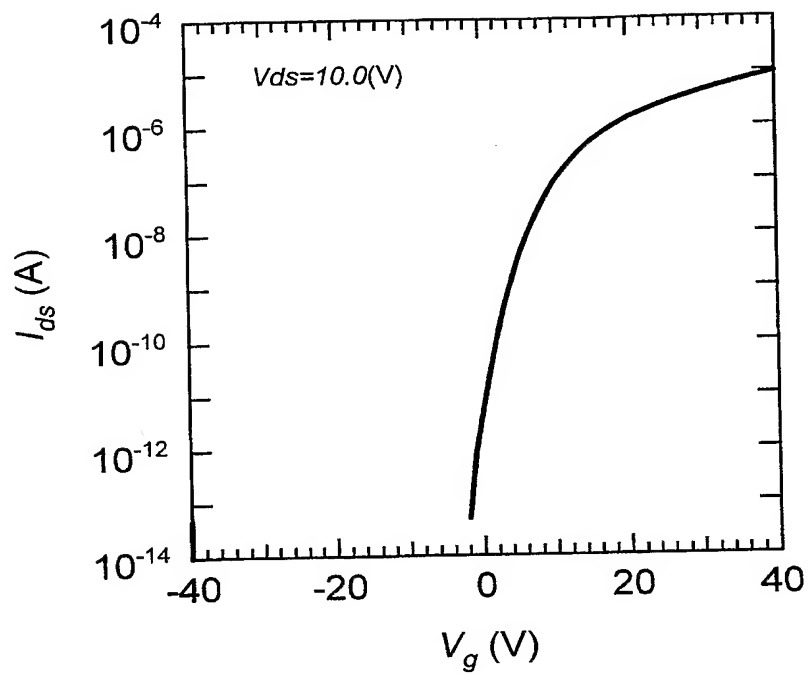
【図 2】



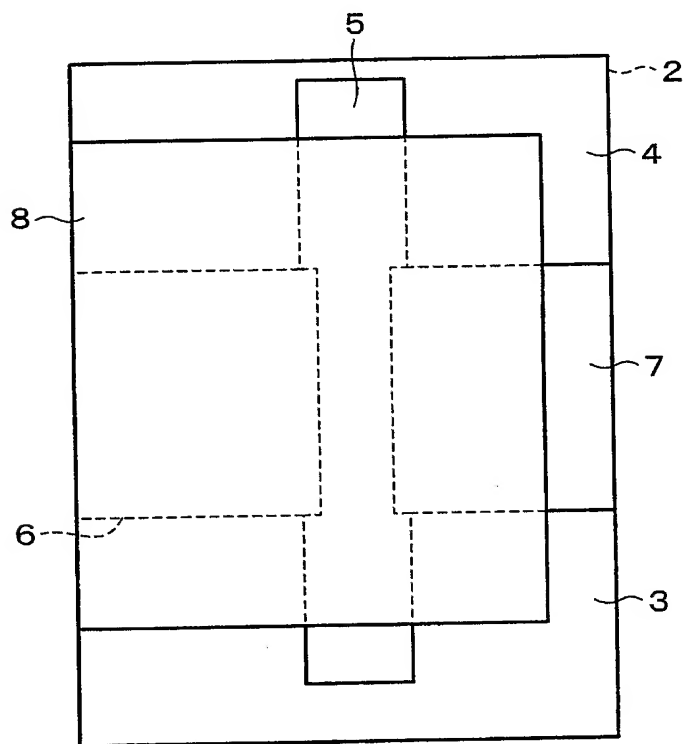
【図 3】



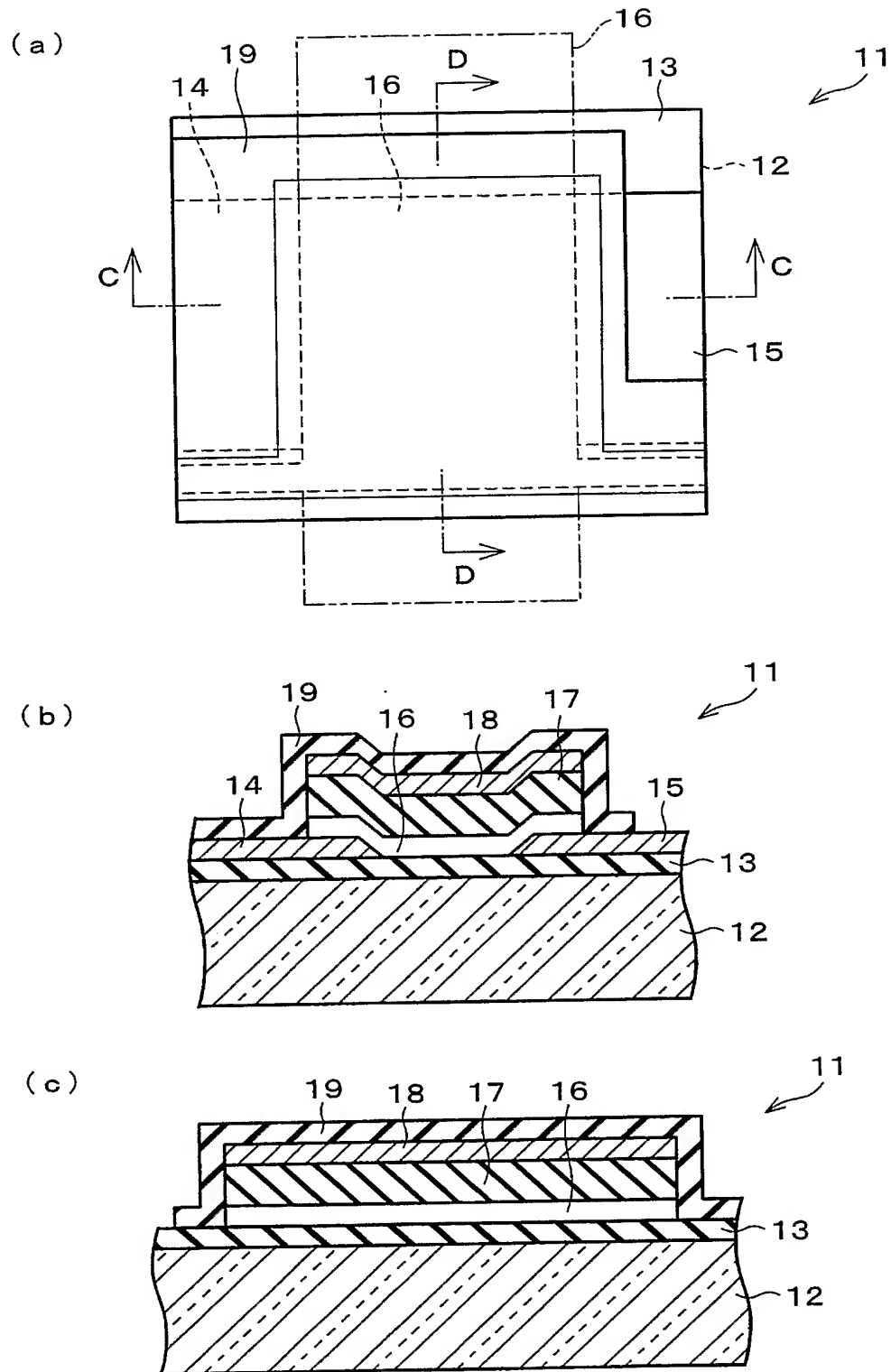
【図 4】



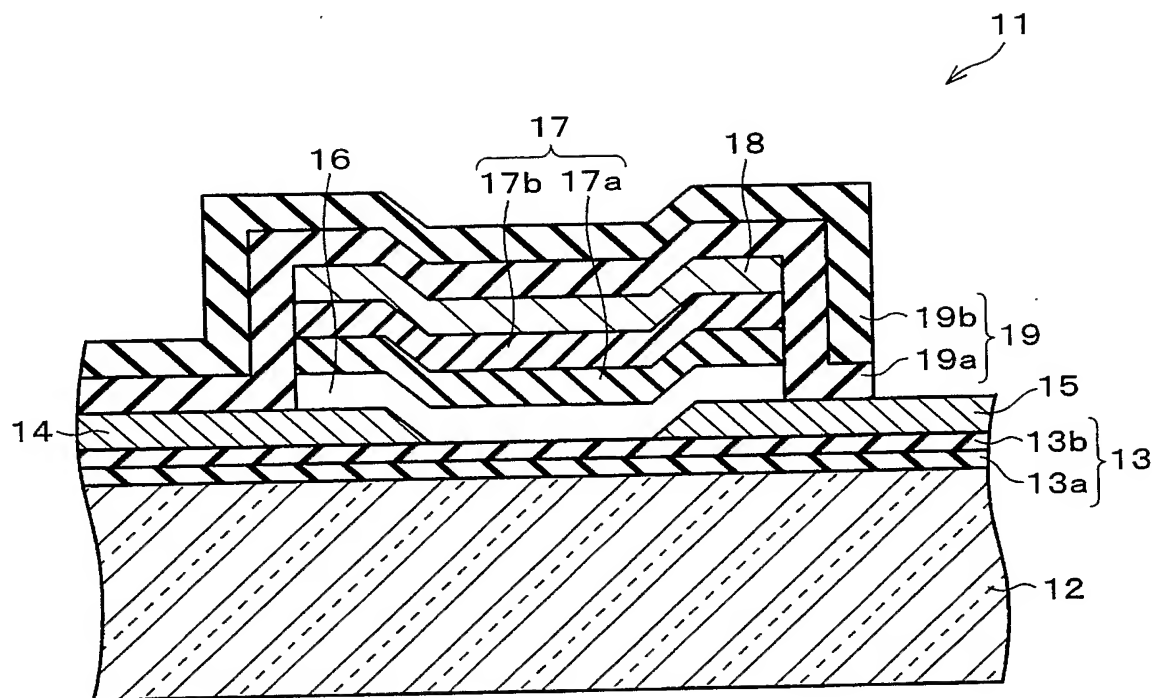
【図 5】



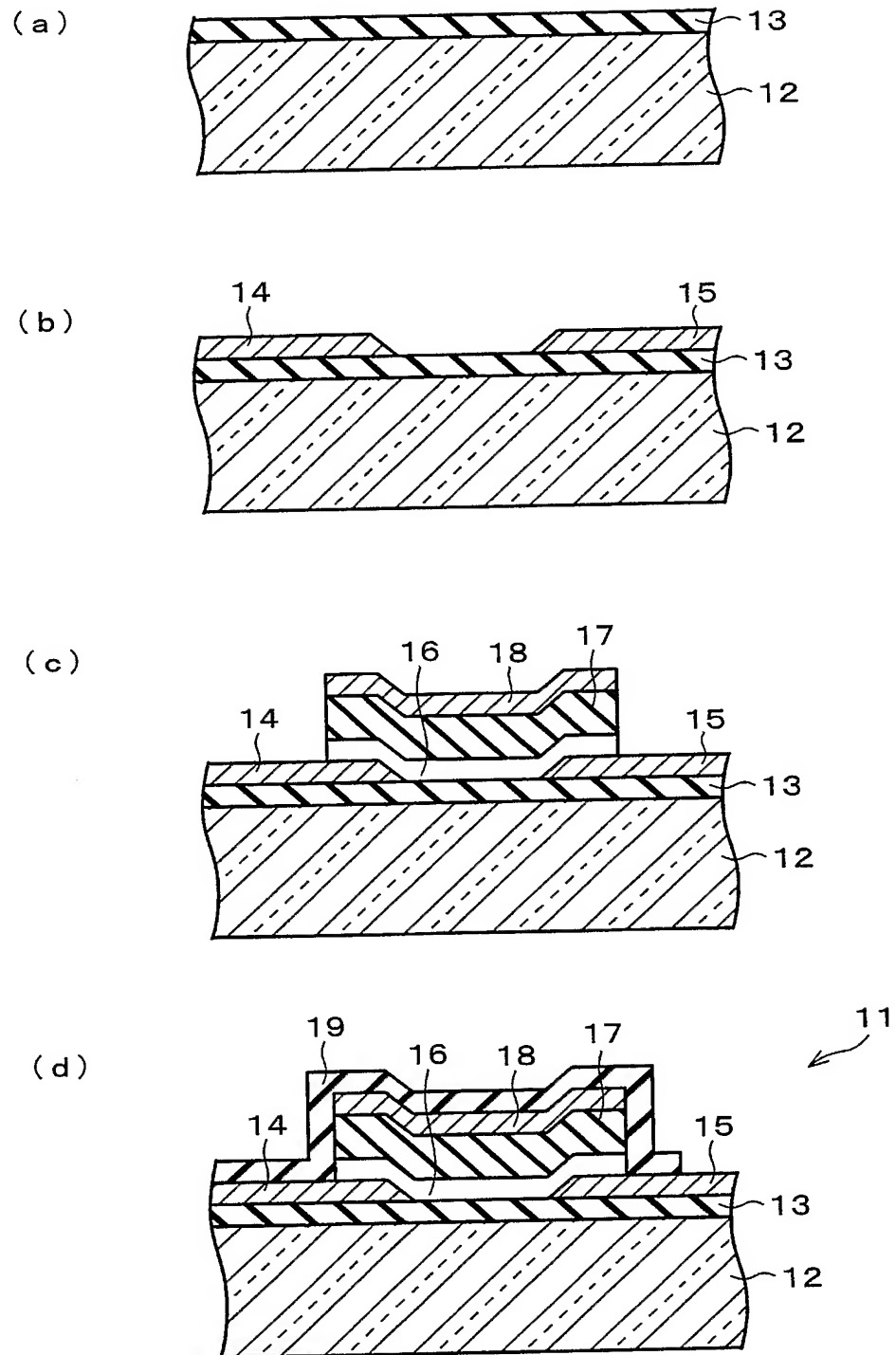
【図 6】



【図 7】

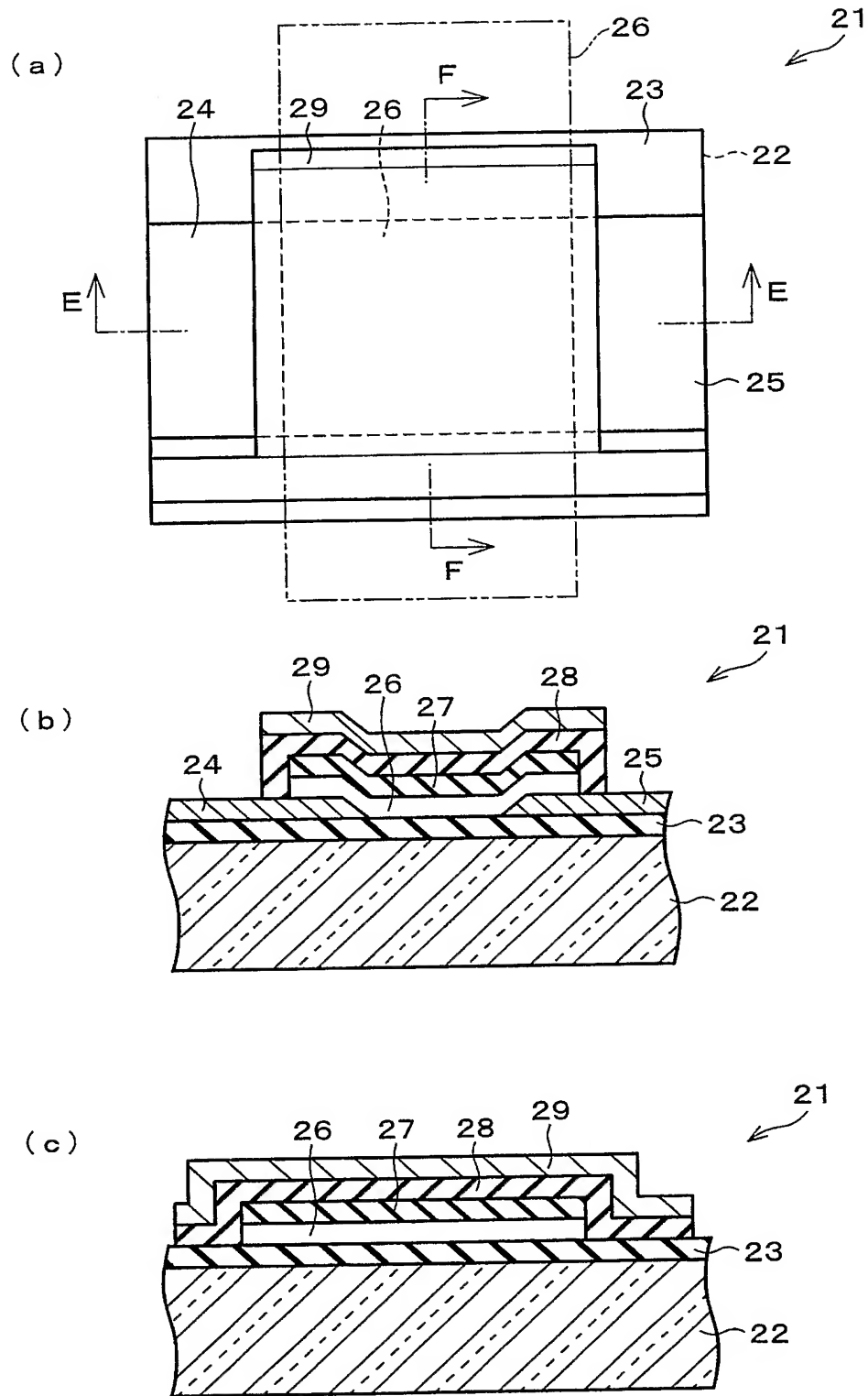


【図 8】

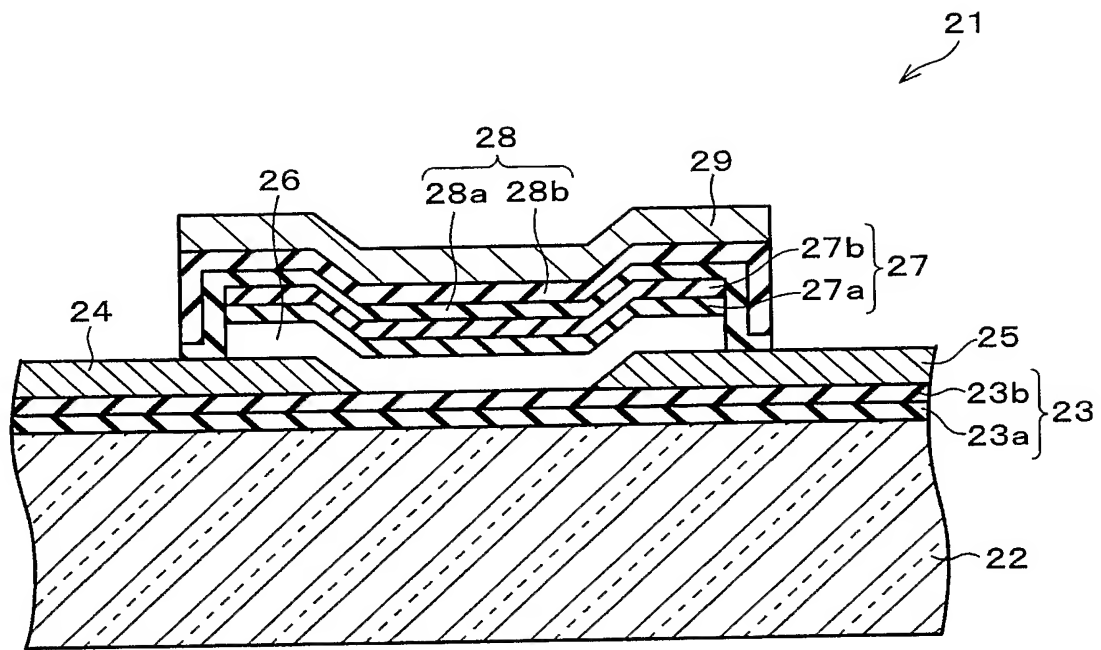




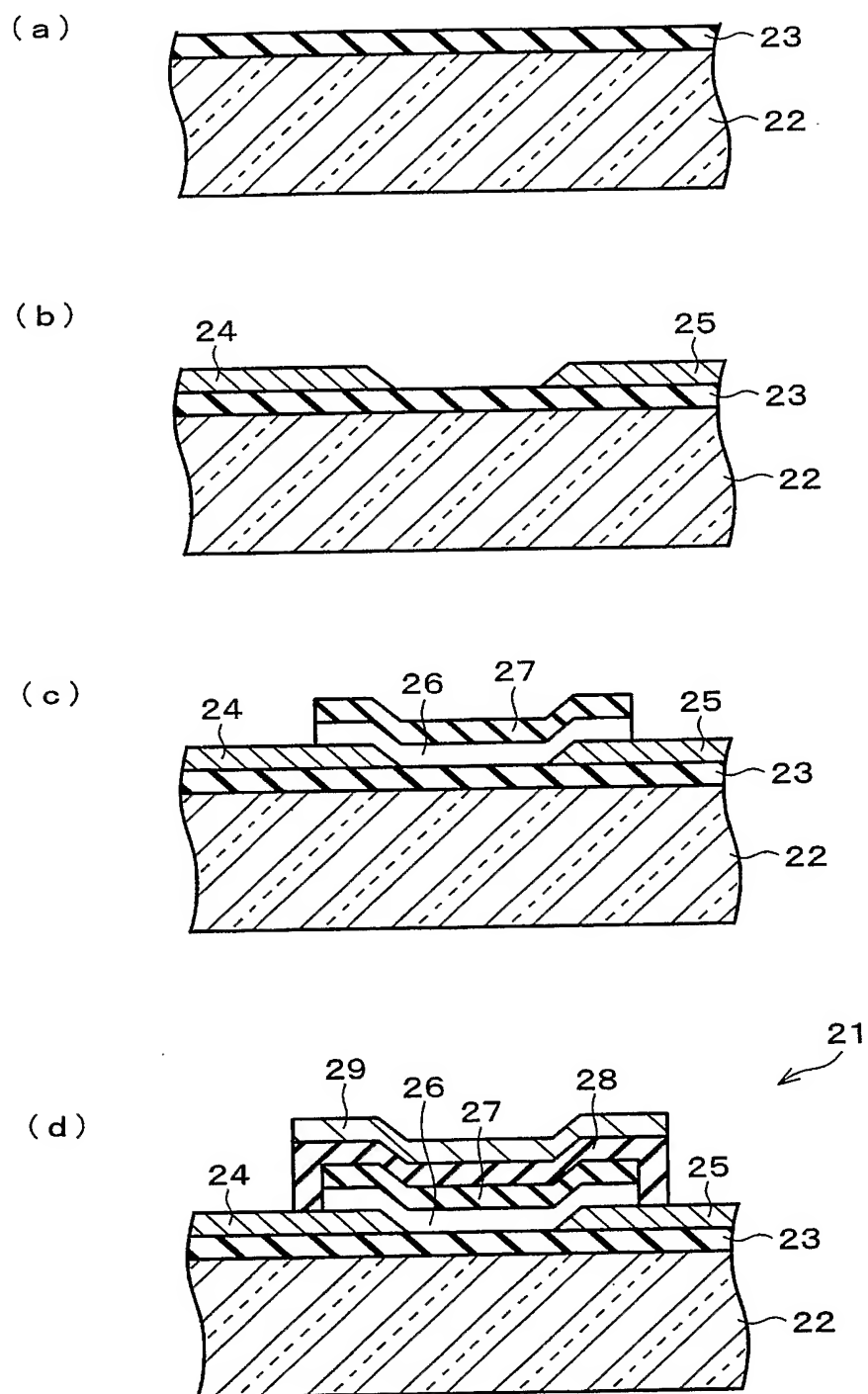
【図 9】



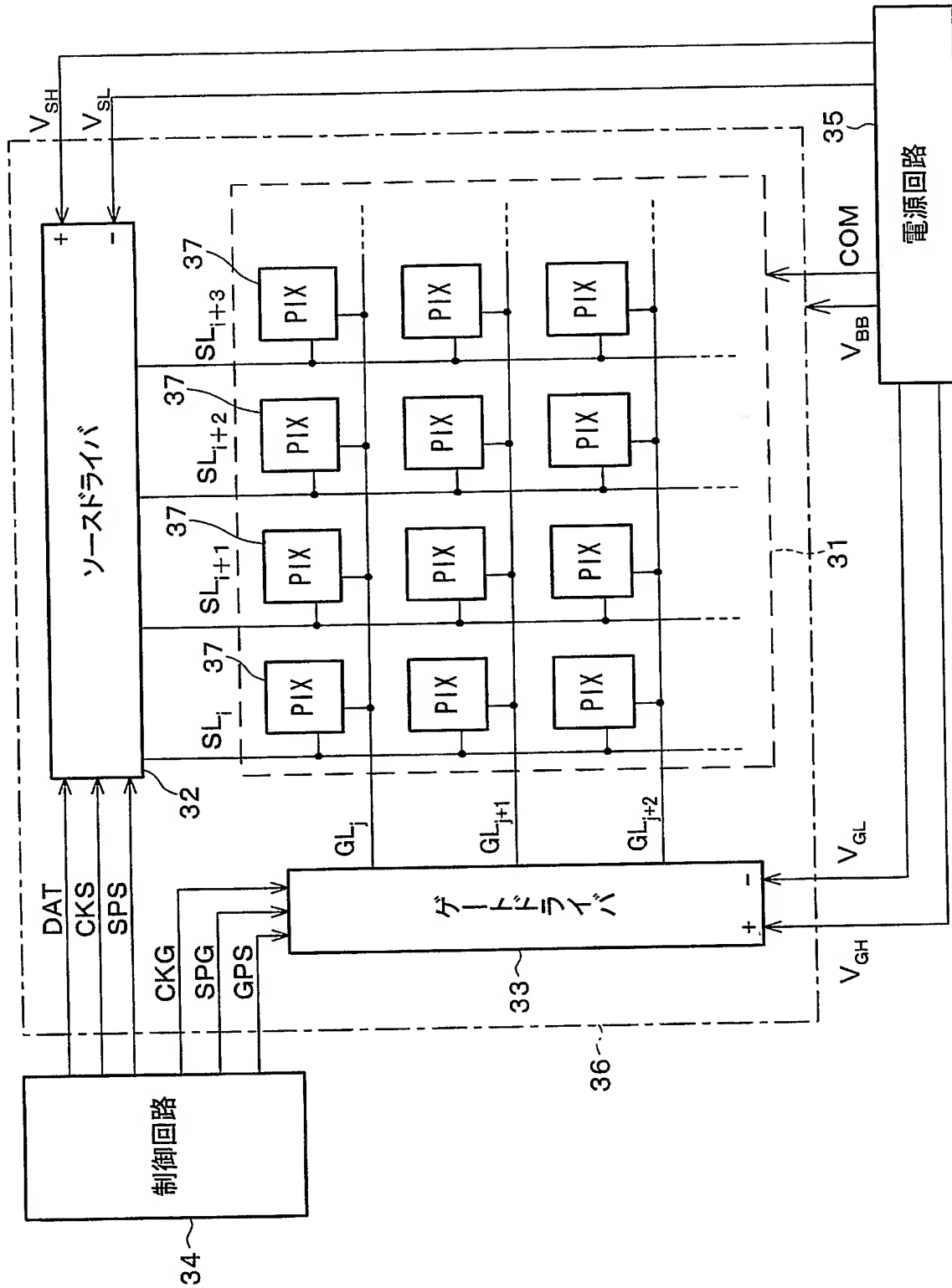
【図 10】



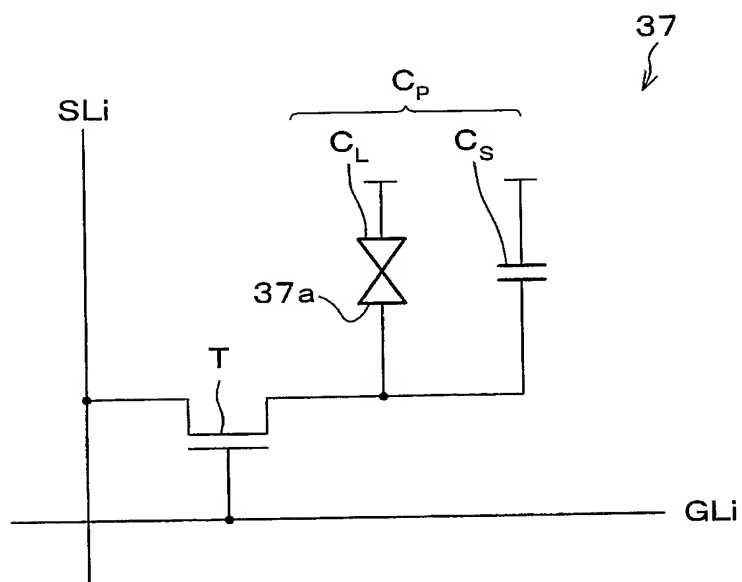
【図 11】



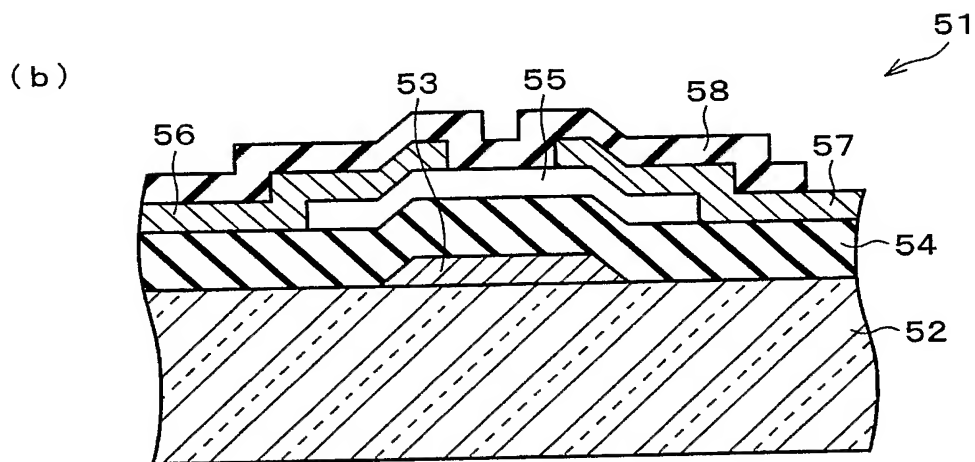
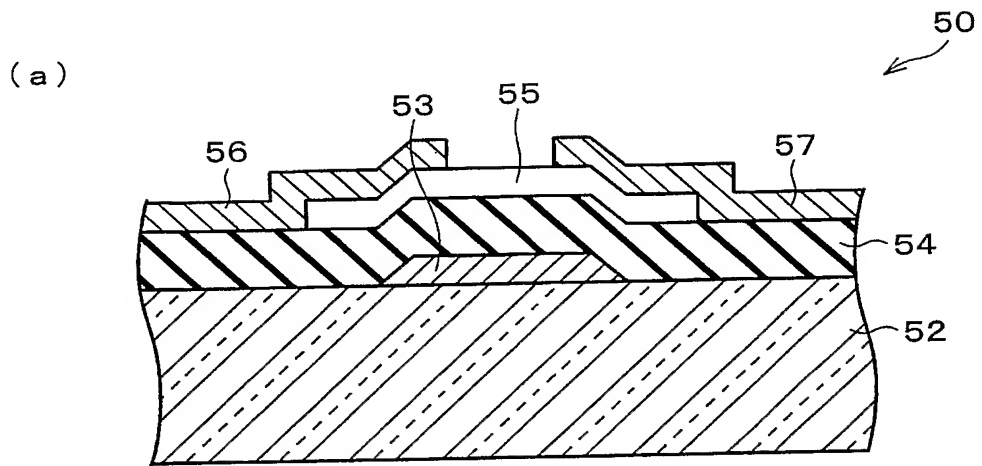
【図 12】



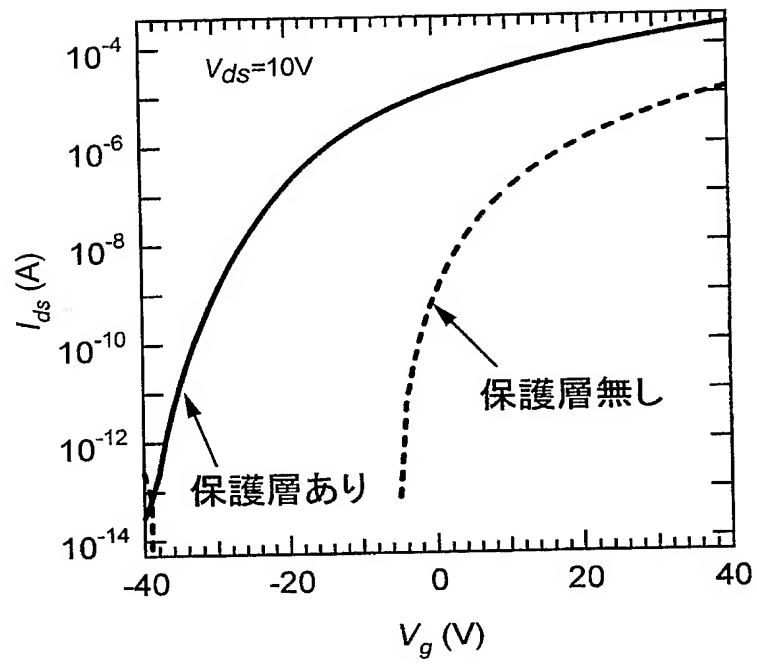
【図 13】



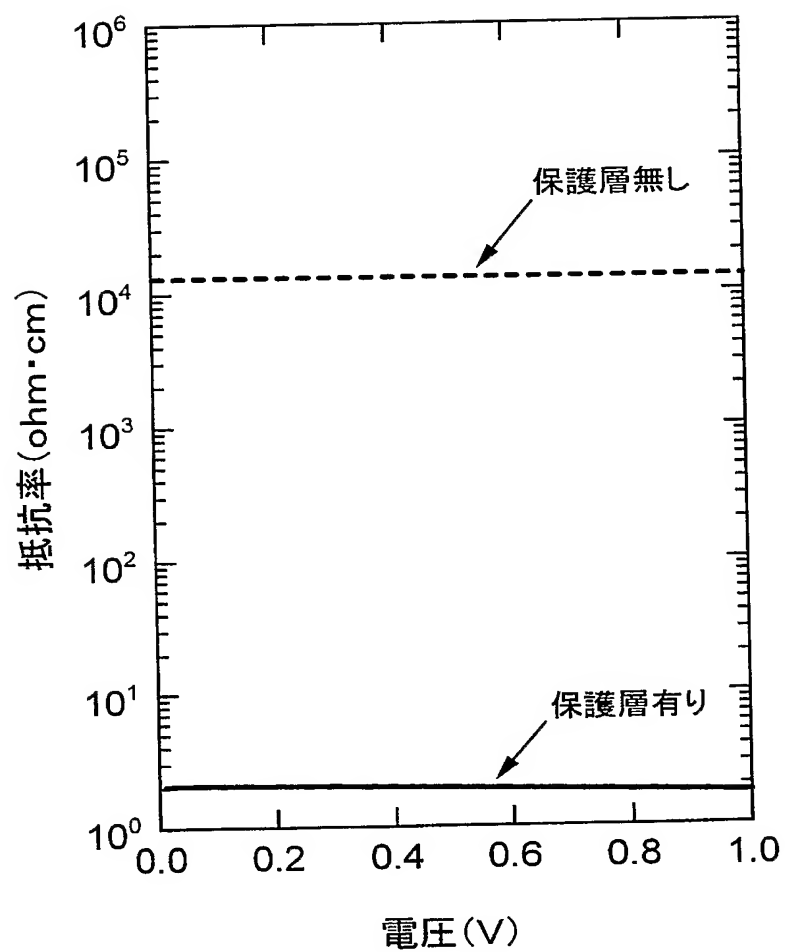
【図 14】



【図 15】



【図 16】





【書類名】 要約書

【要約】

【課題】 酸化亜鉛を活性層に用い、かつ活性層を雰囲気と隔離する保護層の付与された半導体装置の実使用を可能にする。

【解決手段】 薄膜トランジスタ 1 において、絶縁性基板 2 上のゲート電極 3 の上に、ゲート絶縁層 4 を介して半導体層 5 が積層され、その上にソース電極 6 とドレイン電極 7 とが形成され、さらにその上を覆う保護層 8 が形成されて、半導体層 5 を雰囲気から隔離している。半導体層 5 (活性層) は、例えば V 族元素が添加された ZnO の多結晶状態の半導体を用いて形成される。ZnO は、保護層 8 により表面準位が減少し、内部への空乏層が拡がりが消滅されるので、本来の抵抗値を示す n 型半導体となり、自由電子が過剰な状態になる。添加された元素は ZnO に対してアクセプタ不純物として働くので、過剰な自由電子が減少する。これにより、過剰な自由電子を排除するためのゲート電圧が低下するので、しきい値電圧が 0 V 付近となる。

【選択図】 図 1

特願 2 0 0 3 - 1 7 7 2 7 2

出 願 人 履 歴 情 報

識別番号

[ 0 0 0 0 0 5 0 4 9 ]

1. 変更年月日

1 9 9 0 年 8 月 2 9 日

[変更理由]

新規登録

住 所

大阪府大阪市阿倍野区長池町 2 2 番 2 2 号

氏 名

シャープ株式会社

特願 2 0 0 3 - 1 7 7 2 7 2

出 願 人 履 歴 情 報

識別番号

[ 5 0 1 3 5 6 7 2 1 ]

1. 変更年月日

2 0 0 1 年 9 月 1 0 日

[変更理由]

新規登録

住 所

宮城県仙台市泉区桂 3 - 3 3 - 1 0

氏 名

大野 英男

特願 2 0 0 3 - 1 7 7 2 7 2

出 願 人 履 歴 情 報

識別番号

[ 5 0 1 1 2 2 3 7 7 ]

1. 変更年月日

2 0 0 2 年 1 1 月 2 6 日

[変更理由]

住所変更

住 所

宮城県仙台市青葉区川内元支倉 3 5 番地 1 - 1 0 1

氏 名

川崎 雅司